

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : DE TECHNOLOGIE  
Département : GENIE DES PROCEDES  
Domaine : SCIENCE ET  
TECHNOLOGIE  
Filière : GÉNIE DES PROCÉDÉS  
Spécialité : GÉNIE CHIMIQUE

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Thème:

Récupération du CO<sub>2</sub> rejeté vers l'atmosphère en vue de  
produire l'urée (simulation) FERTIAL-ANNABA

Présenté par : BOUSEKKINE Meriem  
DAROUH Hanine

Encadrant : EL-Khamssa Guechi

Pr

Université Badji Mokhtar

### Jury de Soutenance :

Bechiri Ouhiba	Pr	Université Badji Mokhtar	Président
EL-Khamssa Guechi	Pr	Université Badji Mokhtar	Encadrant
EL-Khamssa Guechi	Pr	Université Badji Mokhtar	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023



# *Dédicace*

*A mon père et ma mère*

*A mes sœurs et mes frères*

*A tous mes amis*



## **Remerciement**

*Qu'il nous soit d'abord permis de remercier et d'exprimer notre gratitude envers Allah, qui nous a donné la patience, le courage et la force pour que nous puissions continuer ce modeste travail.*

*Nous tenons à présenter nos sincères remerciements qui vont du cœur à tous les membres de nos familles ; en tête nos parents ; qui nous a apporté beaucoup de soutien durant toute la scolarité.*

*Tout notre reconnaissance et nos plus vifs remerciements s'adressent à notre promoteur Madame **GUECHI EL-KHAMSA** d'avoir accepté d'encadrer ce travail. Nous la remercions tout particulièrement pour l'intérêt qu'il a apporté à ce sujet, pour tous ses précieux conseils, pour sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, pour son oreille attentive qu'elle nous a toujours accordé, pour sa confiance, pour l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et de nous avoir orienté vers le chemin de la recherche scientifique.*

*Nos remerciements vont également:*

*Remerciements A l'ensemble de nos enseignants de département de génie des procédés. Nous tenons aussi à remercier très chaleureusement :*

*Chef de service de l'unité d'ammoniac Monsieur **DELLAL ALI** pour son aide précieuse durant notre stage, ses conseils constructifs lors de l'élaboration de ce mémoire de fin d'études. Avec nos grands respects bien affectueusement.*

*Chef de structure de l'unité de l'ammoniac Monsieur **DJERRAI Abdelhak** pour sa grande rigueur scientifique, son dynamisme et son ouverture d'esprit qu'il a su nous donner les premières initiations de la recherche scientifique tout au long du stage.*

*Toute notre immense gratitude pour l'ensemble des enseignants à partir de l'étude primaire jusqu'à L'étude universitaire. Nos derniers remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, que ce soit en pensée ou en action.*

*ENFIN, un remerciement spécial pour ma chère sœur M.m Daroui qui nous a beaucoup aidé dans ce modeste travail. Que dieu vous apporte plus de bonheur, de joie et de réussite dans votre vie.*

# Sommaire

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	III
Abréviation .....	IV
Résumé .....	V
Introduction générale .....	VI
problématique .....	VII

## I : présentation du complexe FERTIAL-Annaba

<b>I.1.Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2.Historique</b> .....	<b>1</b>
<b>I.3.Les actionnaires de fertial</b> .....	<b>2</b>
I.3.1.Groupe VILAR MIR .....	2
I.3.2.Groupe ASMIDAL .....	2
<b>I.4.présentation de fertial</b> .....	<b>2</b>
<b>1.Direction de plateforme</b> .....	<b>2</b>
Plateforme ANNABA .....	2
Plateforme ARZEW.....	3
<b>I.5.Situation géographique</b> .....	<b>3</b>
<b>I.6.Présentaion de la plateforme -ANNABA</b> .....	<b>4</b>
a.Zone sud engrais phosphatés .....	4
b.Zone nord engrais azotés .....	5
<b>I.7.Objectif de l'entreprise</b> .....	<b>5</b>
<b>I7.1.Principales activités</b> .....	<b>5</b>
1.Fertial d'annaba .....	6
2.Fertial d'arzew .....	6
<b>I.7.2.Exportation</b> .....	<b>7</b>
<b>I.8.Laboratoire de l'usine</b> .....	<b>7</b>
I.8.1.Laboratoire de qualité.....	7
I.82.Laboratoire agronomique .....	7
<b>I.9.Les installations portuaires de l'usine</b> .....	<b>8</b>
<b>I.10.Conclusion</b> .....	<b>8</b>

## II : procédé de fabrication de l'Ammoniac

<b>II.1.Introduction</b> .....	<b>9</b>
--------------------------------	----------

<b>II.2.Définition</b>	<b>9</b>
<b>II.3.Généralité sur l'Ammoniac</b>	<b>10</b>
<b>II.3.1.Historique</b>	<b>10</b>
<b>II.3.2.Caractéristique de l'Ammoniac</b>	<b>10</b>
<b>II.3.3.Propriété physique-chimique</b>	<b>11</b>
<b>II.3.4.Consommation de la matière première et utilité</b>	<b>12</b>
<b>II.3.5.Produits</b>	<b>12</b>
<b>II.3.6.Matière première et leur préparation</b>	<b>12</b>
1. L'eau	12
2. L'air	13
3. Le gaz naturel	13
<b>II.3.7.Domaines d'utilisation de l'Ammoniac</b>	<b>14</b>
<b>II.4. Objectif du procédé</b>	<b>14</b>
1.Préparation de matières brutes d'alimentation	16
2.Purification du gaz de synthèse	16
3.Synthèse d'Ammoniac	16
<b>II.5.Différentes étapes de fabrication de l'Ammoniac</b>	<b>15</b>
<b>II.6. Description de procédé de fabrication d'Ammoniac</b>	<b>16</b>
<b>II.7. Description de la formation du dioxyde de carbone</b>	<b>17</b>
<b>II.7. 1.Compression et désulfuration du gaz naturel</b>	<b>17</b>
<b>II.7. 2.Reforming primaire</b>	<b>18</b>
<b>II.7. 3. Reforming secondaire</b>	<b>19</b>
<b>II.7. 4.Conversion du gaz carbonique</b>	<b>21</b>
<b>II.7. 5. Purification des gaz</b>	<b>23</b>
.Extraction du gaz carbonique	23
.Description du procédé	23
<b>II.7.6 .Méthanisation</b>	<b>25</b>
<b>II.7.7 .Synthèse de l'Ammoniac</b>	<b>26</b>
<b>II.7.8 Compression de gaz de synthèse et d'Ammoniac</b>	<b>28</b>
<b>II.7.9.Synthèse et réfrigération de l'Ammoniac</b>	<b>28</b>
<b>II.8 .Stokage et distribution du produit</b>	<b>30</b>
<b>II .Conclusion</b>	<b>31</b>

### **III : La récupération du CO<sub>2</sub>**

<b>III.1. Introduction</b>	<b>32</b>
<b>III.2.Les procédés de décarbonatation</b>	<b>32</b>

III.3. décarbonation du gaz naturel par absorption .....	33
III.4 .Le dioxyde de carbone .....	34
III.5 .Généralité sur le dioxyde de carbone .....	35
III.5.1 .Les propriétés du CO <sub>2</sub> .....	35
III .5.2.Sous forme gazeuse .....	35
III.5.3 .Sous forme liquide .....	36
III .5.4.Sous forme solide .....	36
III .5.5. En phase supercritique .....	36
III .5.6.Utilisation du CO <sub>2</sub> .....	37
III .6.Sources d'émission du CO <sub>2</sub> .....	37
III .7.Le procédé de captage du CO <sub>2</sub> dans le monde .....	38
III .8.Méthode de séparation du CO <sub>2</sub> .....	39
III.9 .Procédé de récupération proposé .....	40
III.10. Etude économique de procede de récupération .....	42
III.11. Stockage du CO <sub>2</sub> .....	43
III.12. CONCLUSION.....	43

#### IV : La simulation du procédé de l'urée

IV.1.Introduction .....	44
IV.2.Définition .....	44
IV.3. Propriété physique-chimique .....	44
IV.4.Utilisation de l'urée .....	45
IV.5.Généralité sur la production de l'urée.....	45
IV.6.Principe du procédé .....	46
IV.7.Caractéristique des procédés .....	47
IV.8.Matière première .....	48
IV.9.Les étapes de production .....	48
IV .10.Synthèse de l'urée .....	49
IV .10.1.Recirculation et évaporation .....	50
IV.10.2.Etape de granulation .....	50
IV.10.3.Refrodisseur .....	51
IV.10.4. Stockage et expédition .....	51
IV.11.Simulation de l'unité de l'urée .....	51
IV.11.1.Présentation du logiciel de simulation ASPEN HYSYS .....	51
IV.11.2.Simulation .....	51

<b>IV.11.3.Présentation des procédures de simulation par HYSYS .....</b>	<b>52</b>
<b>IV.11.4.Modèle thermodynamique.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.11.5.Choix de modèle thermodynamique .....</b>	<b>54</b>
<b>IV.11.6. La simulation de la production de l'urée .....</b>	<b>55</b>
<b>IV.12. Chiffre de consommation .....</b>	<b>59</b>
<b>IV.12.Conclusion .....</b>	<b>60</b>

## **V : La sécurité de l'unité de l'Ammoniac**

<b>V.1.Introduction .....</b>	<b>61</b>
<b>V.2.Les substance toxiques .....</b>	<b>62</b>
<b>V.3. Premiers secours .....</b>	<b>63</b>
<b>V.4. Précautions .....</b>	<b>64</b>
<b>V.5.Conseils générale pratiques.....</b>	<b>66</b>
<b>V.6.Systèmes de sécurtié des installation de l'uinté.....</b>	<b>67</b>
<b>V.7. Conclusion générale .....</b>	<b>68</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>69</b>
<b>Référence bibliographique .....</b>	<b>72</b>

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Les directions générales de Fertial .....	3
<b>Figure I.2</b> : Situation géographique d'Asmidal-Annaba .....	4
<b>Figure I.3</b> : Organigramme de Fertial .....	5
<b>Figure II.1</b> : Illustration d'une partie de l'usine Fertial unité d'Ammoniac / centrale .....	9
<b>Figure II.2</b> : Structure de $\text{NH}_3$ .....	10
<b>Figure II.3</b> : Les domaines d'utilisation de l'Ammoniac .....	14
<b>Figure II.4</b> : Schéma de simulation de la production de l'Ammoniac.....	16
<b>Figure II.5</b> : Diagramme de fabrication et de contrôle de l'Ammoniac .....	16
<b>Figure II.6</b> : Schéma de représentation de la section de désulfuration du gaz naturel .....	18
<b>Figure II.7</b> : Schéma de représentation de la section du reforming primaire .....	19
<b>Figure II.8</b> : Schéma de représentation de la section reforming secondaire .....	21
<b>Figure II.9</b> : Schéma de la section du convertisseur de shift 104-D .....	22
<b>Figure II.10</b> : Schéma de la section de décarbonation .....	24
<b>Figure II.11</b> : Circuit de régénération de la solution MEA .....	25
<b>Figure II.12</b> : Schéma de la section de méthanisation .....	26
<b>Figure II.13</b> : Compression de gaz de synthèse .....	27
<b>Figure II.14</b> : Schéma de la boucle de synthèse .....	28
<b>Figure II.15</b> : Schéma de réfrigération .....	30
<b>Figure II.16</b> : Bac de stockage de l'Ammoniac .....	31
<b>Figure III.1</b> : Organigramme de procédé de décarbonatation .....	33
<b>Figure III.2</b> : L'émission du $\text{CO}_2$ au niveau de strippers .....	34
<b>Figure III.3</b> : Représentation 3D du dioxyde de carbone .....	35
<b>Figure III.4</b> : Les sources industrielles du $\text{CO}_2$ .....	38
<b>Figure III.5</b> : Captage du $\text{CO}_2$ par postcombustion .....	38
<b>Figure III.6</b> : Captage du $\text{CO}_2$ par précombustion.....	39
<b>Figure III.7</b> : Captage du $\text{CO}_2$ par l'oxycombustion.....	39
<b>Figure III.8</b> : Procédé de récupération proposée .....	41
<b>Figure IV.1</b> : Molécule de l'urée .....	44
<b>Figure IV.2</b> : Urée granulé .....	44
<b>Figure IV.3</b> : Diagramme bloc du procédé de synthèse de l'urée par stripping $\text{CO}_2$ .....	48
<b>Figure IV.4</b> : Structure générale de HYSYS .....	53

<b>Figure IV.5:</b> Choix des espèces chimiques .....	55
<b>Figure IV.6:</b> Choix du modèle thermodynamique NRTL .....	55
<b>Figure IV.7 :</b> Les résultats de la simulation de compresseur .....	56
<b>Figure IV.8 :</b> Les résultats de la simulation de pompe .....	57
<b>Figure IV.9:</b> Schéma de simulation de process de l'urée .....	58
<b>Figure IV.10 :</b> Résultats de la simulation de l'urée .....	58
<b>Figure V.5:</b> Moyen des sécurités dans l'unité .....	61
<b>Figure AN.1:</b> Les zones de captage et stockage du CO <sub>2</sub> au monde .....	69
<b>Figure AN.2 :</b> Schéma simplifié de procédé de captage et stockage du CO <sub>2</sub> .....	70
<b>Figure AN.3 :</b> Localisation des systèmes de l'unité de l'urée .....	71
<b>Figure AN.5</b> Bac de stockage de l'urée .....	71

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Capacités de production et gamme des produits d'usine d'Arzew .....	7
<b>Tableau II.1</b> : Propriété physique-chimique de l'Ammoniac .....	11
<b>Tableau III.1</b> : Propriété de dioxyde de carbone .....	35
<b>Tableau III.2</b> : Les estimations financières pour la réalisation du projet .....	42
<b>Tableau IV.1</b> : Propriété physique-chimique de l'urée .....	45
<b>Tableau IV.2</b> : Résultats simplifiés de la simulation de compresseur .....	56
<b>Tableau IV.3</b> : Résultats simplifiés de la simulation du pompe .....	57
<b>Tableau IV.4</b> : Comparaison entre l'unité de l'urée d'Annaba (proposé) et d'Arzew .....	59
<b>Tableau AN.1</b> : Schéma de simulation de la production de l'Ammoniac .....	69

## Liste des Abréviations

ZnO	Oxyde de zinc
NiO	Oxyde de Nickel
MEA	Mono Ethanol Amine
HTS	High temperature section
LTS	Low temperature section
EM	Entrée méthanisateur
SM	Sortie méthanisateur
EC	Entrée convertisseur
SC	Sortie convertisseur
GP	Gaz de process
SSP	Super simple phosphate
UAN	Urée acide nitrique
F	Séparateur
B	Four
D	Réacteur
C	Echangeur
J	Compresseur ou Pompe
HT	Haute température
BT	Basse température
Uf	L'ultrafiltration
Mt	Tonnes métriques
HP	Haute pression
BP	Basse Pression
Ppm	Partie par million
NPK	Azote, phosphore et potassium
Nonante	90
EPE	Entreprise Publique Economique

## Résumé

L'urée est produite en combinant de l'ammoniac et du dioxyde de carbone. Cette réaction chimique est connue sous le nom de cycle de l'urée. L'urée est largement utilisée dans l'industrie des engrais et des produits chimiques. Le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère peut être capturé et réutilisé dans la production d'urée. Cette technique de récupération de CO<sub>2</sub> est connue sous le nom de capture et stockage de carbone. En utilisant cette technique, nous pouvons réduire les émissions de gaz à effet de serre et contribuer à la lutte contre le changement climatique. Dans ce travail, on a appliqué les méthodes de captage de CO<sub>2</sub> et l'a séparé de l'eau en utilisant logiciel **ASPEN HYSYS** pour obtenir l'urée.

## Abstract

Urea is a combination of ammonia and CO<sub>2</sub>. This chemical reaction is called urea cycle. It's largely used to produce pesticides and in the chemical industries. The CO<sub>2</sub> ejected in the atmosphere is retrieved and reused in the reproduction of the urea. This recovery technique is known as a capture and storage of carbon. We use this technique to reduce the emission of CO<sub>2</sub> and contribute to the fight against global warming. In this work, we applied methods of capture of CO<sub>2</sub> and separated it of water in order to get urea using the program of EPSON HYSYS.

## الملخص

تم إنتاج اليوريا عن طريق الجمع بين الأمونيا وثاني أكسيد الكربون. يُعرف هذا التفاعل الكيميائي بدورة اليوريا. تستخدم اليوريا على نطاق واسع في صناعة الأسمدة والصناعات الكيماوية. الهدف المحدد في هذه الرسالة هو التقاط ثاني أكسيد الكربون المنطلق في الغلاف الجوي وإعادة استخدامه في إنتاج اليوريا. تُعرف تقنية استرداد ثاني أكسيد الكربون هذه باسم احتجاز الكربون وتخزينه. باستخدام هذه التقنية، يمكننا تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والمساهمة في مكافحة تغير المناخ. في هذا العمل تم تطبيق طرق التقاط ثاني أكسيد الكربون وفصله عن الماء، تم إجراء المحاكاة بواسطة برنامج ASPEN HYSYS، من هذا الأخير استطعنا الحصول على عملية اليوريا

## INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation de l'Ammoniac dans plusieurs domaines permet d'améliorer la qualité de vie. Cependant s'il peut être bénéfique, l'Ammoniac peut aussi avoir des effets indésirables sur les êtres humains et l'environnement.

Dans l'industrie, Il est produit en quantité industrielle par le procédé HaberBosch à partir de diazote ( $N_2$ ) et de dihydrogène ( $H_2$ ). Dans la nature, la décomposition de matière organique produit également de l'Ammoniac. L'Ammoniac est l'un des composés les plus synthétisés au monde, il sert essentiellement à la fabrication d'engrais azotés.

Mais il peut également être employé comme gaz réfrigérant ou pour la production de plastiques, d'explosifs ou d'autres produits chimiques. Au cours du procédé de fabrication de l'Ammoniac, la section de décarbonatation du gaz a pour but d'éliminer la grosse partie du gaz carbonique qui est un poison rejeté dans l'atmosphère et qui peut engendrer de graves dégâts sur l'homme et l'environnement. C'est pourquoi un certain nombre de pays et d'organisations ont mis au point, au fil des ans, des lois et des règlements pour sauver la planète.

Les technologies relatives de captage de  $CO_2$  sont aujourd'hui disponibles sur le marché pour mettre en œuvre des procédés d'absorption par voie chimique.

Le captage et la récupération du  $CO_2$  sont des enjeux majeurs pour lutter contre le changement climatique .En effet, le dioxyde de carbone est l'un des principaux gaz à effet de serre émis par les activités humaines. Parmi ces dernières, l'industrie de l'urée est particulièrement conclue. La production de l'urée nécessite l'utilisation d'une grande quantité d'ammoniac et de  $CO_2$  (deux molécules d'Ammoniac plus une molécule de dioxyde de carbone).

Le HYSYS est un logiciel de simulation de procédé développé par Aspen technologie. Il est principalement utilisé pour simuler des procédés industriels tels que la production de l'urée qui est présenté dans ce mémoire.

Le travail de ce mémoire est entamé par une introduction générale qui donne une idée sur l'importance du thème abordé tout en exposant clairement l'objectif visé.

Cette mémoire est consacrée à une recherche:

- La présentation du complexe Fertial-ANNABA ; Et détail sur le procédé de fabrication de l'Ammoniac ;

La récupération du  $CO_2$ , et la simulation de la production de l'urée ainsi que pour la sécurité de l'unité de l'Ammoniac

Et on termine le travail de ce mémoire par une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus au cours de ce travail.

## PROBLEMATIQUE

La section de décarbonatation du complexe Fertial (unité d'Ammoniac) émit environ 27203 Nm<sup>3</sup>/h du CO<sub>2</sub>, ce qui cause le changement climatique et d'autres effets néfastes sur l'environnement, la santé des êtres vivants et l'économie.

Donc, comment réduire les émissions du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère pour lutter contre le dérèglement du climat en garantissant une croissance économique suffisante ?

Face à cette problématique environnementale, des solutions de captage et de récupération de CO<sub>2</sub> ont été développées. L'objectif est de récupérer le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) émis dans la section de la décarbonatation pour la production de l'urée.

Dans cette optique, plusieurs technologies ont été développées pour capturer le CO<sub>2</sub> émis lors de la production de l'urée. Parmi elles, on peut citer la séparation physico-chimique, la capture par absorption, la capture par adsorption ou encore la capture par membrane. Toutefois, ces technologies doivent être optimisées pour garantir leur efficacité économique tout en réduisant leur impact environnemental.

## I . PRESENTATION DU COMPLEXE FERTIAL-Annaba

### I.1. INTRODUCTION

Notre pays contient plusieurs complexes industriels entre autre celui d'ASMIDAL à Annaba, est considéré comme l'un des piliers de l'économie nationale et support pour le secteur agricole, celui-ci tente de suffire le marché national et devenir compétitif sur le marché international.

### I.2. HISTORIQUE [1]

Le complexe des engrais phosphatés et azotés de Annaba a été construit en 1972 par la société SONATRACH pour satisfaire les besoins du pays en fertilisants et éventuellement exporter les excédents. L'implantation du complexe a été choisie sur la base des considérations économiques suivantes :

- Existence d'une infrastructure importante caractérisée par la proximité des installations portuaires (3 kilomètres) et les moyens de communication rapide :
- Des utilités proches (eau de mer, eau de barrage....)
- Les centrales thermiques d'EL HADJAR et d'ANNABA (énergie électrique)
- Proximité des gisements de mines (phosphate) à 300 KM au sud d'ANNABA (Djebel d'ONK)

A pour principales mission la production, la commercialisation et la distribution de :

- L'Ammoniac ;
- Les engrais phosphatiques ;
- Les engrais azotiques.

En 1985, suite à la restructuration SONATRACH, ASMIDAL a été créé pour prendre en charge la production, la commercialisation et le développement des engrais.

En 1997, L'EPE (Entreprise Publique Economique) ASMIDAL retenu dans son plan de restructuration la filialisation des deux plates-formes de production d'Annaba et d'Arzew. En 2000, les filiales Alzofert (Arzew) et Fertial (Annaba) ont vu le jour.

Enfin le 4 Aout 2005, ASMIDAL et le groupe Vilar Mir (Espagne) ont conclu un accord de partenariat pour les deux plates-formes (Arzew et Annaba) réservant une majorité de 66% à la partie Espagnole.

### I.3. LES ACTIONNAIRES DE FERTIAL [1]

Les actions de Fertial sont détenues par :

- ✓ Groupe VILAR MIR : 66%
- ✓ Groupe ASMIDAL : 34%

#### I.3.1. Groupe VILAR MIR

Groupe VILAR MIR (GVM) est un groupe espagnol industriel, privé diversifié et présenté dans plusieurs secteurs d'activités. Son chiffre d'affaire en 2005 est de 3740 millions d'euros. Dans le secteur d'engrais, il dispose, à travers sa filiale FERTERBIRIA, d'une capacité de production d'engrais de 5,6 millions tonnes.

#### I.3.2. Groupe ASMIDAL

Pionnier en Alger dans la production et la commercialisation des engrais et de l'Ammoniac, ASMIDAL a ouvert en 2005 le capital de ses filiales de production FERTIAL et ALZOFERT aux espagnols du groupe VILLAR MIR (66%) de la maintenance SOMIAS aux tunisiens de ALKIMIAL (55%) et production de STPP aux Britannique de WOODGROP (55%). Aujourd'hui ASMIDAL est devenue une société et institut de distribution des engrais de FERTIAL à travers la filiales AZFERTRADE (Asmidal Ferilizer rade) dont elle détient 100% du capital.

### I.4. PRESENTATION DE FERTIAL (SPA) [1]

Fertial, crée 01 mars 2001, est passée à une société par action (spa) en 2005 (66%) groupe espagnol Vilar Mir, 34% ASMIDAL-FERTIAL, Algérie).

#### I.4.1. Direction de plateforme

Il y a deux pôles industriels :

- **Plateforme ANNABA** : complexe qui fabrique des engrais phosphatés, azotés et de l'Ammoniac ( $\text{NH}_3$  :1000T/J et 1000T /J de Nitrate d'Ammonium).
- **Plateforme ARZEW** : complexe qui fabrique des engrais azoté et de l'Ammoniac ( $\text{NH}_3$  :1000 T/J) et du Nitrate d'Ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  :1500 T/J).



**Figure I.1 :** Les directions générales de Fertial. [1]

## I.5. SITUATION GEOGRAPHIQUE [1]

L'usine se trouve à l'est de la ville de Annaba ; elle est limitée par l'Oued Seybouse et la cité Sidi Salem à l'Est, la cité Seybouse à l'Ouest, la mer méditerranée au Nord, la route nationale N°44 et la plaine de Annaba au Sud. (Figure I.2)



**Figure I.2 :** Situation Géographique d'ASMIDAL-ANNABA.

### **I.6. PRESENTATION DE LA PLATEFORME-ANNABA [2]**

L'unité Fertial de Annaba destinée à la fabrication d'Ammoniac et d'engrais azotés et phosphatés, regroupe deux zones : la zone sud et la zone nord.

#### **a) Zone sud (engrais phosphate)**

Elle est entrée en production en 1972, elle comprend :

- Un atelier de production d'engrais (NPK et UAN) ;
- Un atelier de super simple phosphate SSP ;
- Centrale utilités (1).

#### **b) Zone nord (engrais azote)**

Créé en 1975 en corporation avec la société Creusot Loire Kellogg et Krebs, elle est entrée en production en 1987 (unité Acide Nitrique et Nitrates d'Ammonium) pour l'unité d'Ammoniac.

Elle comprend :

- Une unité d'Ammoniac (NH<sub>3</sub>) ;

- Une unité d'acide Nitrique (HNO<sub>3</sub>);
- Une unité de Nitrate d'Ammonium (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) ;
- Centrale utilité (2) ;
- Une installation de manutention et de stockage ;
- Un laboratoire.

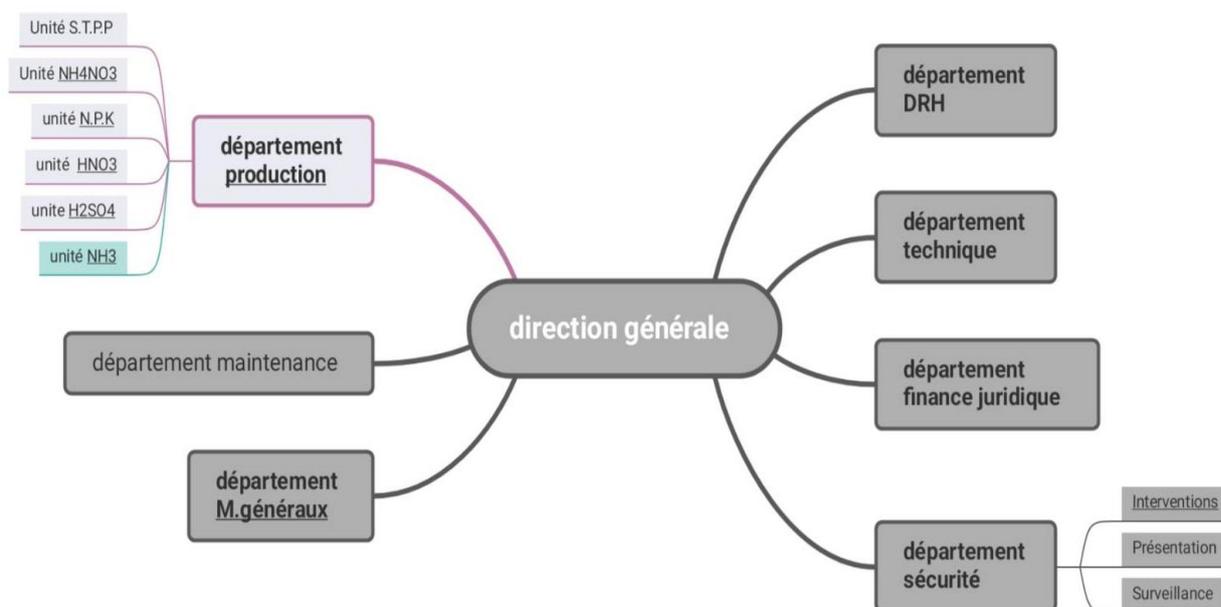


Figure I.3 : Organigramme de FERTIAL.

### I.7.OBJECTIF DE L'ENTREPRISE [2]

Dans le cadre national du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- Promouvoir et développer l'industrie des engrais et des produits phytosanitaires.
- Exploiter, gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers dont elle dispose.
- Satisfaire les besoins du marché national et international.
- Favoriser l'épuisement de l'esprit d'imagination et l'initiative et faire appel aux moyens locaux.

#### I.7. 1. Principales activités [2]

Liste des produits fabriqués ou vendus par FERTIAL :

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

**1. Ferial DE ANNABA** : représente plusieurs activités, nous pouvons citer les activités les plus importantes :

- Production de l'Ammoniac : 1000T/J ;
- Production de Nitrate d'Ammonium ou/et d'Ammonium calcique à 27 % d'Azote : 02 ligne de 500T/J ;
- Production d'Acide Nitrique : 02 ligne de 400 T/J chacune ;
- Production des engrais phosphatés : 1000 T/J :
  - ✓ NPK 15.15.15S ;
  - ✓ NPK 15.15.15C ;
  - ✓ PK 04.20.25 ;
  - ✓ TPS0.46.0 ;
  - ✓ SSP (super simple phosphate) : capacité 1200T/J ;
  - ✓ UAN (urée acide nitrique) capacité 600 T/J ;
- ✓ Des engrais azotés :
  - Nitrique d'Ammoniac ;
  - UAN 32% ;
  - UREE 46%(importée) ;
  - Sulfate d'Ammonium (importée).

Une partie du nitrate et de l'Ammoniac est autoconsommée par FERTIAL pour la production d'autres produits.

**2. Ferial d'ARZEW** : représente plusieurs activités, nous pouvons citer les activités les plus importantes :

**Tableau I.1** : Capacités de production et gamme des produits d'usine d'Arzew

Unité	Capacité de production Tonne/an	La gamme des produits
✦ 2 Unités d'Ammoniac	✦ 660000 ✦ 396000	✦ Ammoniac ✦ Acide nitrique
✦ 3 Unités d'Acide Nitrique	✦ 495000	✦ Nitrate d'Ammonium

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

✦ 3 Unités de nitrate d'Ammonium/CAN ✦ Unité et installation portuaires ✦ 1 Unité d'Ammoniac en projet	✦ 1100000	✦ CAN 27% ✦ UAN
--	-----------	--------------------

### I.7.2. Exportation [2]

Fertial exporte certains produits vers l'étranger :

- NH<sub>3</sub> : Espagne, France, Italie, Grèce, Belgique, Cuba, grand Bretagne, Turquie et Maroc.
- UAN : France, Espagne et USA.
- Nitrate : Tunisie et Maroc.
- SPP : Maroc, Grèce, France, Italie et Brésil.

L'unité d'Ammoniac a une grande valeur économique de la société, pour cela FERTIAL, la mise toujours en priorité par rapport aux autres unités.

### I.8. LABORTAOIRE DE L'USINE [3]

#### I.8.1. Laboratoire de qualité

Il est pour mission de suivre la qualité des produits dans les unités de production (analyse des matières premières, produits intermédiaires dans la chaîne de production, produits finis et rejets atmosphériques et liquides). Une équipe de 25 personnes animent ce laboratoire.

#### I.8.2. Laboratoire agronomique

Construit à l'intérieur de l'usine d'Annaba pour un investissement de 1,2 millions de dollars, ses missions consistent à la réception et la préparation des végétaux et des eaux.

La capacité d'analyse de cette infrastructure de recherche est de 10.000 échantillons par an.

Les éléments analysés concernent :

- Les sols : calcium, magnésium, phosphate, potassium, matières organiques, calcaire actif, carbonate, azote total, conductivité et composition du sol (sable, argile, boue, etc.)

- Les végétaux : calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, cuivre, manganèse, zinc, phosphore, bore, et azote total.
- Les eaux : calcium, magnésium, sodium, potassium, nitrate, chlorure, sulfate, carbonate, bicarbonate, conductivité.

### **I.9. LES INSTALLATIONS PORTUAIRES DE L'USINE [4]**

Afin d'assurer le fonctionnement optimal, le tissu industriel de l'usine est conforté par divers équipements et installations. Pour les besoins d'alimentation de l'usine en eau, deux stations de pompage d'eau de mer sont installées dont les capacités sont :

- Pomperai I : 3 pompes de 5000 m<sup>3</sup>/h
- Pomperai II : 4 pompes de 14000 m<sup>3</sup>/h

Par ailleurs, l'usine dispose d'autres équipements tels que :

- Un bras de chargement d'ammoniac (1000 t/h) ;
- Un transporteur de chargement d'engrais sur navires (1000 t/h) ;
- Un portique de déchargement de matière première solide ;
- Un terminal de déchargement d'acide phosphorique (100m<sup>3</sup>/h) ;
- Deux bras de stockage d'acide phosphorique (2×2500m<sup>3</sup>) ;
- Trois magasins de stockage de matière première solide (capacité totale 35000 t).

### **I.10. CONCLUSION**

Le procédé de fabrication de l'Ammoniac utilisé à FERTIAL est conçu pour la production de 1000 T/J d'Ammoniac liquide, en partant des matières premières préliminaires qui comprennent le gaz naturel, la vapeur d'eau et l'air. Ceci s'accomplit par la méthode de reforming de KELLOG à haute pression.

## II. PROCEDE DE FABRICATION D'AMMONIAC

### II.1. INTRODUCTION

L'unité d'Ammoniac est la tranche essentielle dans le complexe ASMIDAL. L'Ammoniac produit des engrais azotés synthétiques, lesquels ont longtemps été considérés comme essentiels pour alimenter la population mondiale au début du XXI<sup>e</sup> siècle. Le procédé de fabrication de l'Ammoniac utilise des matières premières :

De l'air comme source d'Azote, du méthane comme source d'hydrogène et de l'eau, ceci s'effectue par la méthode de reforming à haute pression dans l'ordre suivant : préparation des matières brutes d'alimentation, purification du gaz de synthèse, synthèse de l'Ammoniac.

L'Ammoniac joue aussi un rôle très important dans la production d'autres composés comme l'Acide Nitrique, Carbonate d'Ammonium, Urée...etc.



**Figure II.1:** Illustration d'une partie de l'usine FERTIAL (unité d'Ammoniac / centrale II).

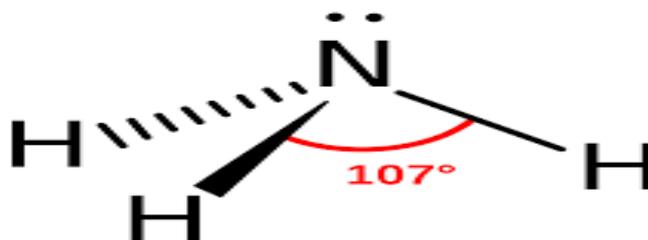
### II.2. DEFINITION [5]

L'Ammoniac est considéré comme le composé inorganique caractérisable par son odeur âcre. Il peut être trouvé sous forme gazeuse ou dissous en solution aqueuse (Ammoniaque NH<sub>4</sub>OH ou ion ammonium NH<sup>4+</sup>). Il se forme de manière naturelle au cours du cycle de l'azote ou bien par hydrolyse de l'urée selon l'équation :



Ou bien :





**Figure II.2:** Structure d'Ammoniac (NH<sub>3</sub>)

L'intérêt porté à ce composé au fil des siècles a poussé l'Homme à développer des méthodes de production industrielles en vue de répondre à de nombreux besoins tels que :

- ✦ La production d'engrais azotés ;
- ✦ La fabrication d'acide nitrique ;
- ✦ L'utilisation comme fluide réfrigérant dans l'électronique, la chimie...
- ✦ La fabrication de plastiques, d'explosifs.

L'Ammoniaque est obtenue par dissolution du gaz ammoniac dans l'eau à hauteur de 20 à 30% massique.

### II.3. GENERALITE SUR L'AMMONIAC [5]

#### II.3.1. Historique

Le procédé de synthèse de l'Ammoniac a été développé en 1904 par Fritz Haber et démontré en 1909 par une production de 80 g/h de l'Ammoniac. La première production industrielle a été faite en 1913 sur une unité pilote de 30 tonnes/h. Depuis quelques années, les pays qui disposent de vastes ressources en gaz naturel prennent également une place croissante dans la production et le commerce international de l'Ammoniac et des engrais azotés, alors que la plupart des pays du golf multiplient des complexes de l'Ammoniac dont l'essentiel de la production va à la grande exportation vers le CANADA et le Mexique.

#### II.3.2. Caractéristique de l'Ammoniac [6]

Gaz : incolore, basique, plus léger que l'air.

- Une odeur piquante et acre ;
- Assez toxique car il est très basique ;
- Dans la nature : en forme de sel NH<sub>4</sub>CL ;

- Produit par la décomposition de matière organique ;
- Tension de vapeur élevée ;
- Soluble dans H<sub>2</sub>O, éther, tétrachlorure de carbone...etc.
- Inflammable ;
- Température d'ignition élevée (650°C) ;
- Effet corrosif.

Commercialement, l'Ammoniac est vendu à l'état liquide dans des récipients en acier où la pression est de quelques bars. L'Ammoniac est un gaz soluble dans l'eau, à la température ordinaire, 1 litre d'eau en dissout environ 800 litre. La solution commerciale, appelée Ammoniaque, est un liquide incolore, un peu moins dense que l'eau, de même odeur que le gaz Ammoniac ; elle contient par litre environ 250 litre de gaz NH<sub>3</sub>.

L'Ammoniac est gazeux à température ordinaire ce qui est toujours un inconvénient pour le stockage. Des équipements cryogéniques seront souvent nécessaires pour stocker ou transporter l'Ammoniac. Il est en général stocké anhydre dans des réservoirs en acier (NH<sub>3</sub> attaque le cuivre) à -33°C et à pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique (1,04 bars).

### II.3.3. Propriété physique-chimique [6]

Le tableau suivant récapitule les propriétés physique-chimique de l'Ammoniac

**Tableau II.1** : Propriété physique-chimique de l'Ammoniac

Propriétés	Valeurs
Formule	NH <sub>3</sub>
Apparence	C'est un gaz incolore
Masse moléculaire	17,32g/mol
Température normale d'ébullition	-33,35°C
Température de congélation	-77,7°C
Pression critique	11,25 MPa
Point de fusion	-78,5
Densité	0,6813

Pression de vapeur	A 0°C ..... 0,43 MPA A 20°C ..... 0,85MPA A 50°C ..... 2,03MPA
Masse volumique état liquide	A -33,35°C.....680kg/m <sup>3</sup> A 0°C.....638,6 kg/m <sup>3</sup>
Viscosité de liquide	A 20°C ..... 0,155 CP
Température critique	132,4°C

### II.3.4. Consommation de la matière première et utilité [7]

Pour une production d'une tonne d'Ammoniac, la consommation en gaz naturel, en énergie et en eau ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- Gaz de procédé.....5140 tonnes ;
- Gaz de chauffage .....1550 tonnes ;
- Energie électrique .....16 KW/H ;
- Eau de refroidissement .....210 tonnes ;
- Eau déminéralise d'appoint.....1,2 tonnes ;

### II.3.5 Produits [7]

L'Ammoniac est produit à l'état liquide anhydre, à une température de -33°C, ce qui permet son stockage dans les réservoirs à pression atmosphérique, la qualité standard généralement obtenue contient :

- NH<sub>3</sub>..... 99,5% en masse, minimum ;
- H<sub>2</sub>O.....0,5% en masse, maximum ;
- Incondensable.....0,3% en volume Huile.
- Huile.....5ppm.

### II.3.6. Matière première et leur préparation [7]

La fabrication de l'Ammoniac nécessite les matières premières suivantes :

**1. L'eau :** deux types d'eau sont utilisés :

- ✦ **L'eau de barrage :** elle est considérée comme eau industrielle pour produire la vapeur au niveau des chaudières de récupération 101-C ,102-C et 103-C et dans la chaudière auxiliaire 105-B.

✦ **L'eau de mer** : elle est traitée de façon à éliminer les impuretés qui peuvent influer sur la marche normale des appareils car elle sert au refroidissement. Elle est amenée par des pompes spéciales pour alimenter les différents organes de l'unité.

**2. Vapeur d'eau** : la majeure partie de la vapeur d'eau est faite sur place comme suit :

- ✦ 21T/h dans les chaudières de récupération 101-C, 102-C et 103-C.
- ✦ 107T/h dans la chaudière auxiliaire 105-B.

L'autre partie provient de la centrale thermique en cas de besoin. Cette vapeur est utilisée pour convertir le méthane dans les tubes catalytiques du four 101-B et pour actionner les turbines d'entraînements des compresseurs.

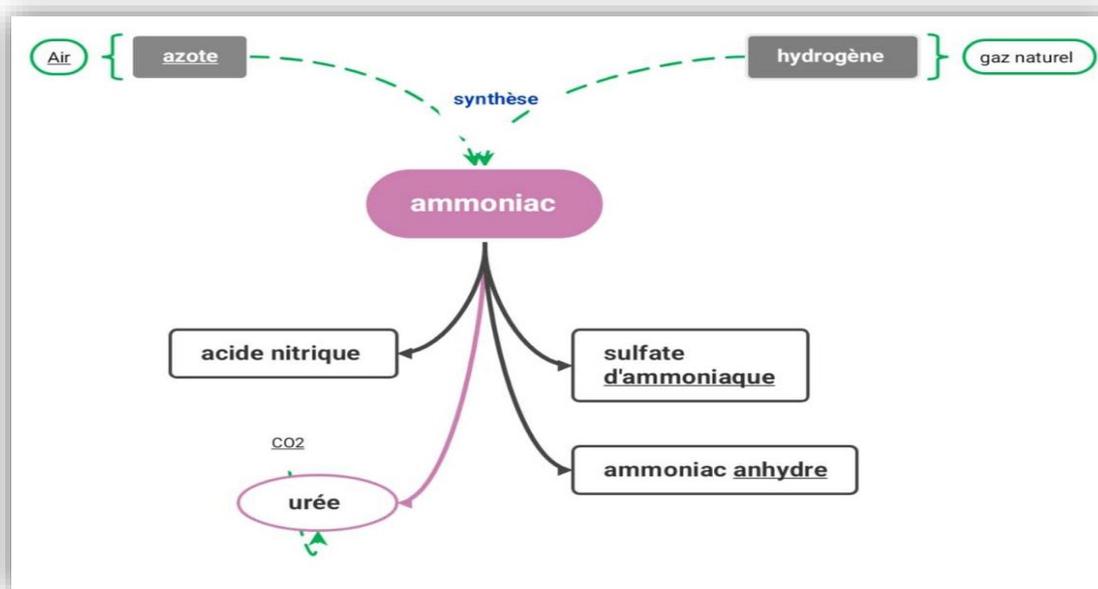
**3. L'air** : il est aspiré par le turbo compresseur 101-J à partir de l'atmosphère. Il est tout d'abord filtré à travers les filtres 101-L et 102-L, déshumidifié, puis il est comprimé dans le 1<sup>er</sup> étage du compresseur 101-J, ensuite dans le deuxième étage jusqu'à une température d'environ 204°C et une pression de 34,17 bars. Il est chauffé ensuite dans la section de convection du four 101-B jusqu'à une température de 466°C pour être envoyé vers la réaction de reforming secondaire afin de fournir l'azote nécessaire à la réaction de synthèse. D'autre part, il va fournir l'oxygène nécessaire à la réaction de combustion du méthane non converti volontairement provenant du four de reforming primaire.

**4. Gaz naturel** : le gaz naturel est la source essentielle d'hydrogène destinée à la synthèse de l'ammoniac. Environ 90% de la production d'Ammoniac est actuellement obtenue à partir du gaz naturel pour des raisons économiques (coût des matières premières, coût de l'investissement et d'exploitation). Le gaz naturel est ramené du port à une pression minimale de 19 bars (effectifs) et à une température de 42°C, il passe d'abord par le séparateur 116-F pour éliminer tout liquide. Puis, en utilisant un déflecteur et un tamis à contre, le gaz sec sort par haut est divisé en deux parties :

- ✦ **Gaz naturel combustible** : il sert à produire de l'énergie thermique au niveau des brûleurs du four 101-B, dans les préchauffeurs, 102-B, 103-B et dans la chaudière auxiliaire 105-B.
- ✦ **Gaz naturel de conversion** : il sert à produire l'hydrogène et le (CO) au niveau des tubes catalytiques.

### II.3.7. Domaines d'utilisation de l'Ammoniac [7]

L'Ammoniac est une matière très importante pour l'industrie chimique surtout dans le domaine de l'agriculture (fabrication des engrais azotés tel que le Nitrate d'Ammonium et l'Urée).



**Figure II.3:** Les domaines d'utilisation de l'Ammoniac(NH<sub>3</sub>).

La plus grande partie de l'Ammoniac (jusqu'à 75% et plus) est consommée par l'industrie des engrais, le reste étant employé dans la chimie plus fine (colorants, fibres, produits pharmaceutiques, insecticides, produits d'entretien, etc.) mais aussi pour la fabrication d'acide nitrique.

Parmi les engrais, l'Urée N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>CO est celui qui a la plus forte teneur en azote et la meilleure stabilité chimique, de plus, il permet de valoriser un sous-produit (le CO<sub>2</sub>) issu notamment du procédé de fabrication de NH<sub>3</sub> lui-même.

### II.4. OBJECTIF DU PROCEDE [7]

L'installation est calculée pour la production de 1000 tonnes par journée de la production de l'Ammoniac liquide, en partant des matières premières préliminaires qui comprennent le gaz naturel, la vapeur d'eau et l'air. Ceci s'accomplit par la méthode de reforming de KELLOG à haute pression et dans l'ordre suivant :

#### 1- Préparation de matières brutes d'alimentation :

- a- Compression et désulfuration du gaz naturel ;
- b- Reforming primaire et secondaire ;
- c- Conversion de CO et CO<sub>2</sub>.

#### 2- Purification du gaz de synthèse :

- a- Extraction du gaz carbonique.
- b- Méthanisation.

### 3- Synthèse d'ammoniac :

- a- Compression du gaz de synthèse purifié ;
- b- Synthèse et réfrigération de l'ammoniac ;
- c- Stockage et distribution du produit.

## II.5. DIFFERENTES ETAPES DE FABRICATION DE L'AMMONIAC [7]

La production d'Ammoniac par reformage du gaz naturel passe généralement par les étapes suivantes :

- ✓ **Désulfuration finale** du gaz naturel pour éliminer les dernières traces de soufre (0,25 ppm).
- ✓ **Reformage primaire** à haute température pour obtenir l'hydrogène nécessaire à la fabrication de l'Ammoniac.
- ✓ **Reformage secondaire** à l'air avec lequel est introduit l'azote de synthèse, suivie d'une récupération de chaleur et d'une génération de vapeur à haute pression ;
- ✓ **Conversion de CO en CO<sub>2</sub>** par la vapeur d'eau, généralement en deux section à la température (371°C) HTS et à la température (242°C) LTS ;
- ✓ **Décarbonatation** du gaz de synthèse ou la teneur en CO<sub>2</sub> est abaissée à moins de 0.01%.
- ✓ **Méthanisation** qui élimine les traces de composés oxygénés (10ppm) ;
- ✓ **Compression du gaz** jusqu'à une pression de 150 bars ;
- ✓ **Boucles de synthèse d'Ammoniac** : à haute pression (150 bars) elle comporte de :
  - ✦ Le réacteur catalytique de synthèse ;
  - ✦ Une série d'échangeurs de chaleur où l'Ammoniac produit est condensé et séparé à l'état liquide ;
  - ✦ Un ensemble de réfrigération à l'Ammoniac qui fournit le froid nécessaire au refroidissement et à la condensation de l'ammoniac produit.

La figure II.4 ci-dessous représente la simulation des différentes étapes de production de l'Ammoniac.

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

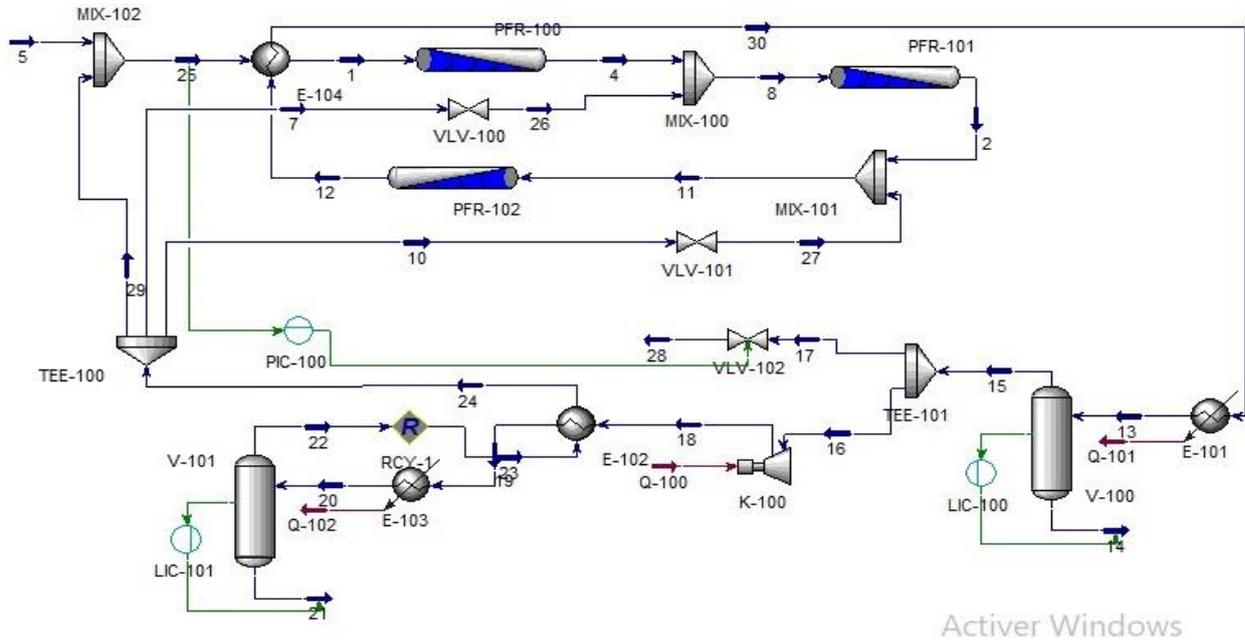


Figure II.4 : Schéma de simulation de la production d'Ammoniac.

### II.6. DESCRIPTION DE PROCEDE DE FABRICATION D'AMMONIAC [7]

L'une des fabrications en phase gazeuse, les plus connues est celle de l'Ammoniac qui s'obtient par voie de synthèse en utilisant un mélange approprié d'azote et d'hydrogène dont les proportions stœchiométriques ( $N_2+3H_2$ ).

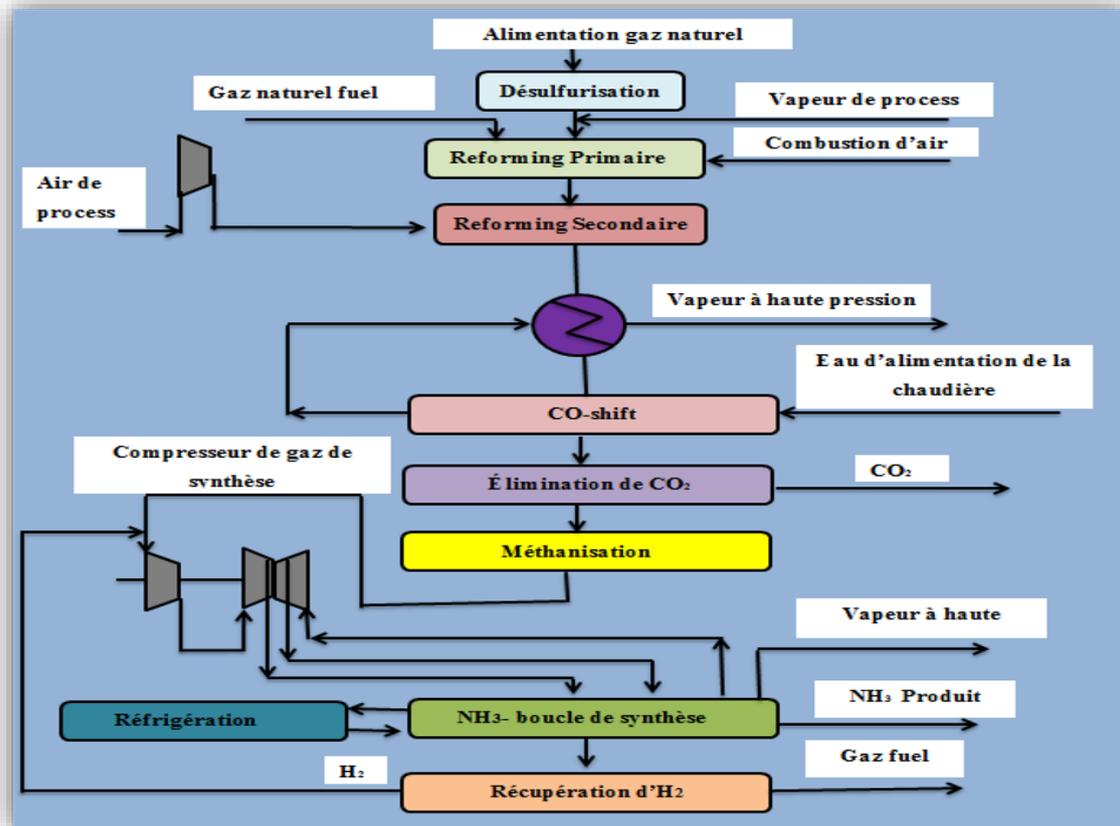


Figure II.5: Diagramme de fabrication et de contrôle d'Ammoniac.

La production de l'Ammoniac par reformage de gaz naturel passe généralement par les étapes qui sont illustrées par la Figure II.5.

### II.7. DESCRIPTION DE LA FORMATION DU DIOXYDE DE CARBONE [8]

La formation du dioxyde de carbone résulte de certaines étapes de la fabrication de l'Ammoniac (NH<sub>3</sub>) qui sont les suivantes :

#### II.7.1. Compression et désulfuration du gaz naturel [8]

Le gaz naturel d'alimentation de l'unité d'Ammoniac, peut renfermer des composés de soufre qui procèdent comme polluants pour les métaux lourds comme le Ni et le Cu, sur lesquels s'appuient les catalyseurs de synthèse. Pour garantir une durée judicieuse et continuée de ces catalyseurs, il est obligatoire que la teneur en soufre dans le gaz d'alimentation soit inférieure à 0,25 ppm.

Le gaz naturel d'alimentation arrive par la limite nord du système à une pression minimum de 19 bars effectifs et à une température maximum de 42° C.

Tout liquide entraîné dans ce gaz d'alimentation est en d'abord extrait dans le séparateur du gaz naturel 116-F, et refoulé dans les égouts d'eaux huileuses.

La pression du gaz naturel d'alimentation augmente jusqu'à environ 41 bars par le compresseur du gaz naturel 102-J. La pression s'élève à l'aide d'une turbine à vapeur et un écoulement minimum y est maintenu par un système de recyclage pour envoyer le gaz du refoulement du compresseur son aspiration.

Postérieurement, le débit du gaz de procès étant mesuré à l'avance, un réchauffement préalable agrandit la température jusqu'à environ 399°C dans le préchauffeur de désulfuration 103-B, le gaz riche en hydrogène vient du compresseur de gaz de synthèse 103-J, est ajouté si ça est nécessaire avant d'y entrer.

Pour le chauffage du gaz dans le 103-B, le gaz de combustion est employé après une réduction de pression environ à 1.8bar, le mélange préchauffé passe ensuite au réacteur de désulfuration 102-D, celui-ci est composé d'un lit de catalyseur de cobalt-molybdène et un lit d'oxyde de zinc.

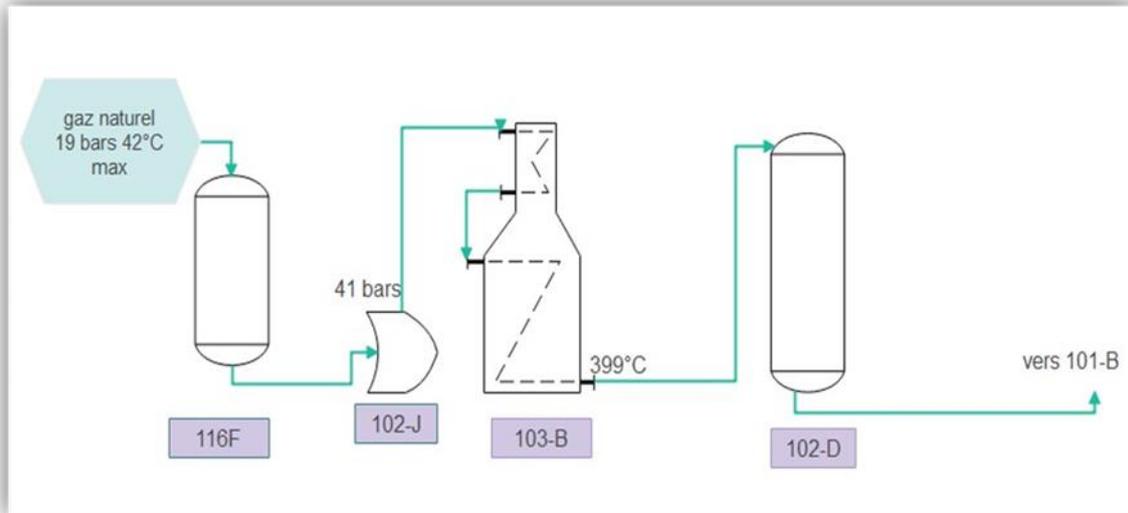
- **Premier lit** : transforme les composés de soufre en H<sub>2</sub>S qui sont adsorbés dans le second lit par l'oxyde de zinc pour avoir le ZnS selon les réactions suivantes :



- **Deuxième lit** : ce lit est composé d'un catalyseur à base de ZnO qui joue le rôle de l'adsorbant du composé sulfureux suivant la réaction :



À la sortie de la désulfuration, le gaz peut avoir moins de 0.25ppm de soufre et il est disponible pour l'alimentation du reforming.



**Figure II.6.** Schéma représentant la section de désulfuration du gaz naturel.

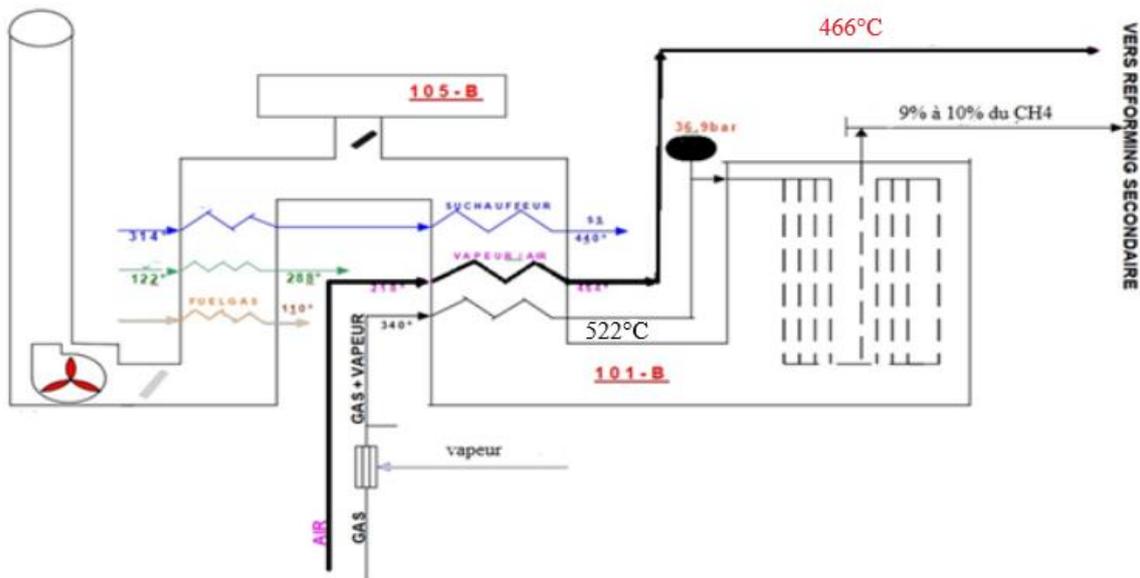
### II.7.2.Reforming (I / II) [8]

- **Reforming primaire (R.I):**

Le débit du gaz naturel d'alimentation provenant de 102-D se rencontre avec de la vapeur à moyenne pression 40 bars produite par la chaudière auxiliaire 105-B, est injecté dans la ligne du gaz naturel désulfuré. Un rapport vapeur/gaz doit être maintenu au-dessus de 3,5. Cette valeur est déterminée pour avoir un bon craquage thermique du gaz.

Le mélange vapeur-gaz naturel passe ensuite par les 48 tubes de la section de convection du four de reforming I 101-B est disposé en 8 circuits. A ce point, la température du mélange monte de 339°C à 524°C par les gaz chauds de Carnot qui sortent du fourneau de reforming. Le mélange s'écoule ensuite par les tubes chargés de catalyseur de la section rayonnement du reforming I. La distribution de l'alimentation de R.I est effectuée dans 378 tubes catalytiques, disposés verticalement et distribués dans 9 files de 42 tubes chacune.

Les tubes contiennent du catalyseur composé principalement d'oxyde de nickel (NiO). Les tubes porte-catalyseurs se trouvent dans le dénommé four de reforming, lequel a ses parois couvertes de réfractaire et d'isolant.



**Figure II.7 :** Schéma représentant la section du reforming primaire.

La chaleur nécessaire pour les réactions endothermiques qui ont lieu est fournie par 200 brûleurs distribués dans 10 rangés qui utilisent comme combustible le gaz naturel de combustion. Le pourcentage molaire du méthane est contrôlé par le service laboratoire avec une fréquence d'une fois par 8h dont la valeur normale est de 9% à 10%. (Figure II.7)

Les réactions qui se produisent dans des conditions normales d'opération peuvent être simplifiées comme suit :



✚ Réaction globale :



- **Reforming secondaire (RII) [8]**

Il reçoit le gaz effluent du R.I pour apporter le N<sub>2</sub> nécessaire pour fournir le rapport H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> requis pour la synthèse de l'Ammoniac.

L'air passe pour être réchauffé dans un serpentin installé dans la partie convection du four de R.I d'où sort environ à quelque 466°C et passe dans un brûleur installé dans la partie supérieure de R.II où il se mélange avec l'effluent de reforming primaire, en ayant lieu dans cette zone la première réaction, fortement exothermique, celle de l'oxygène de l'air avec l'hydrogène du gaz.

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

D'ici coulent les gaz à travers le lit catalytique de nickel, en présence duquel, ont lieu des réactions de reforming. Le reste de CH<sub>4</sub> est brûlé avec l'oxygène en gardant l'azote.

Les réactions (R.8), (R.9) et (R.11) sont endothermiques, le résultat net de ces réactions est une température maximale dans la zone de combustion.

- Premier lit:



- Deuxième lit:

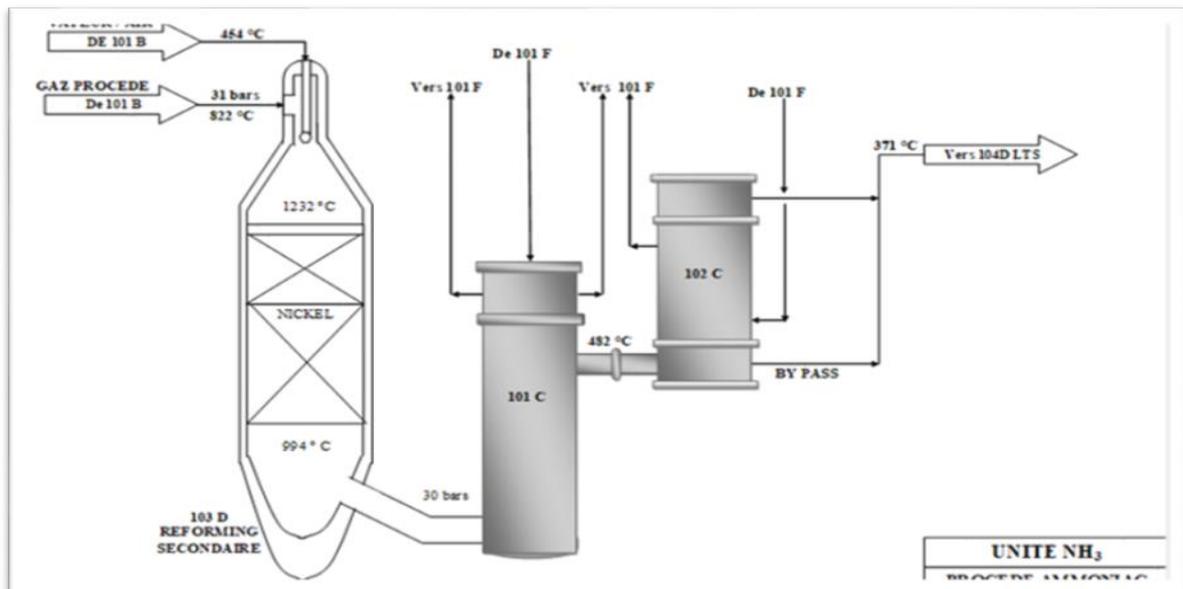


- ✚ Reaction global:



La température du gaz à la sortie est généralement entre 950°C et 1000°C, suivant l'activité du catalyseur. Cette activité est contrôlée au moyen d'analyse de CH<sub>4</sub> à la sortie du 103-D par le service laboratoire, dont la valeur normale est de 0,2 % à 0,6 %.

Le gaz process qui sort du reforming secondaire dirigé vers les chaudières de récupération de chaleur 101-C et 102-C génératrices de vapeur 100 bar, pour sortir avec une température entre 315°C et 380°C, ce qui est nécessaire pour passer à la suivante opération, celle de conversion de CO en CO<sub>2</sub>.



**Figure II.8 :** Schéma représentant la section du reforming secondaire. [8]

### II.7.3. Conversion du gaz carbonique [8]

Le gaz effluent traité dans le reforming II quitte le lit catalytique à la température de 994°C et passe par chaudière de récupération primaire 101-C où il est refroidi par l'eau d'alimentation de cette chaudière lors de la production de la vapeur saturée à 103,5 bars effectifs. Le gaz va ensuite à la chaudière de récupération secondaire 102-C.

Le gaz traité et la vapeur à 371°C pénètre par le haut du convertisseur de Shift HTS.

Dans cette section, on mène la conversion de la plus grande quantité du CO contenu dans le gaz, qui en présence d'un catalyseur (NiO), réagit avec la vapeur d'eau, pour être transformé en H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>, en réduisant la teneur en CO, selon la réaction :

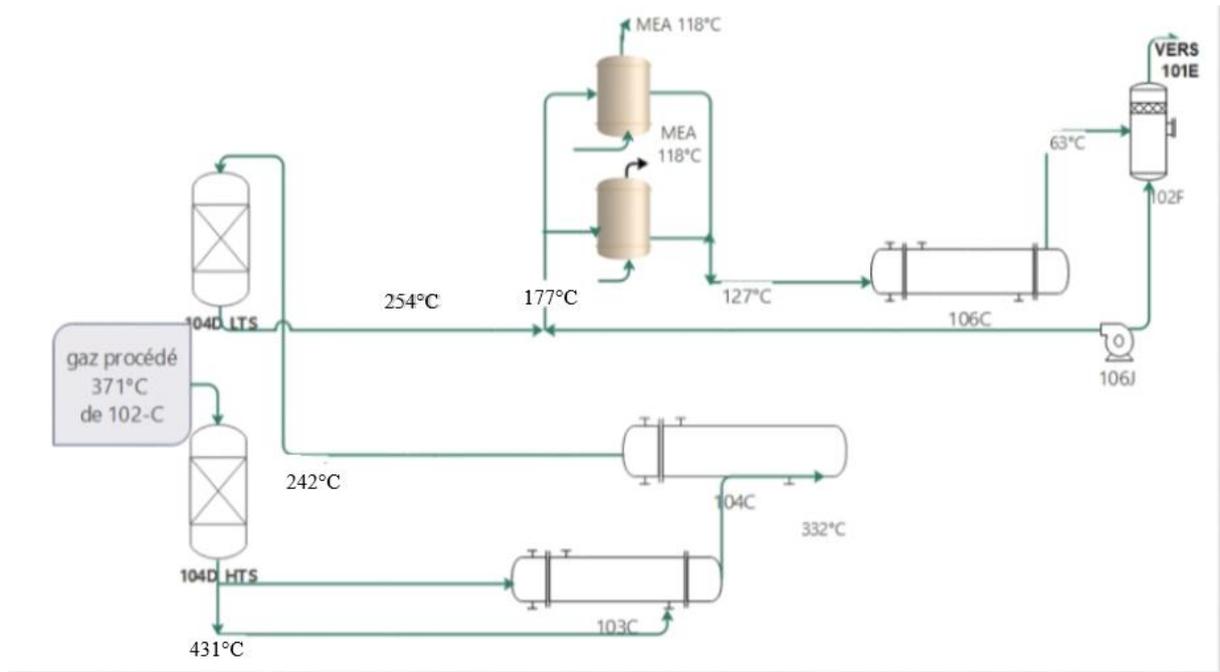


La réaction est exothermique, c'est pourquoi la température du gaz à la sortie est supérieure à celle de l'entrée. Elle augmente jusqu'à environ 431°C. Les calculs de la section primaire de shift (Haute température) sont basés sur la réduction du CO en pourcentage de 12,96 mol à l'entrée et de 3,11 mol sur la base d'un gaz sec à la sortie du récipient.

Partant du convertisseur de shift HT, le gaz passe par la chaudière de récupération 103-C, cédant la chaleur à l'eau d'alimentation de la chaudière pour produire 103,5 bars effectifs de vapeur dans 101-F. L'échangeur est prévu avec une dérivation à température contrôlée. Le gaz de sortie de 103-C, passe par le coté tubes dans 104-C et fournit de la chaleur au produit d'alimentation du méthanateur (réacteur qui convertit les restes de CO et CO<sub>2</sub> en méthane).

Le gaz refroidi sortant de 104-C va au convertisseur de shift à basse température (LTS) où la teneur de CO dans le gaz est réduite à un pourcentage molaire de 0,5.

Ce récipient est placé au-dessus de la section de shift à haute température et contient deux catalyseurs à base d'oxyde de zinc (ZnO).



**Figure II.9 :** Schéma de la section du convertisseur de shift 104-D.

**Remarque :** Pendant la mise en route, le gaz d'alimentation à la sortie du réacteur de désulfuration peut être dirigé sur l'entrée du convertisseur de shift à basse température (BT) en passant par le réfrigérant 112-C comme gaz porteur pendant la réduction du catalyseur dans ce convertisseur.

Le gaz du procédé converti, composé d'environ 30% molaire de vapeur et 70% molaire du gaz sec, est amené à la température de saturation environ 177°C par du condensat en circulation.

Le gaz est encore refroidi jusqu'à environ 127°C en produisant de la chaleur de rebouillage à l'équivalent des rebouilleurs de strippers du CO<sub>2</sub> : 105CA et 105CB. Le gaz est alors refroidi jusqu'à 63°C par de l'eau déminéralisée dans 106-C avant de passer par le séparateur du gaz brut 102-F. A ce stade, il se produit la séparation entre le gaz du procédé et le condensat. Le gaz dégagé va à la section de décarbonatation où se déroule l'extraction du CO<sub>2</sub> [8].

## II.7.4. Purification des gaz (décarbonatation) [8]

### II.7.4.1 Extraction du gaz carbonique

#### II.7.4.1.1 Rôle et importance de la section

L'objectif de la section décarbonatation est de réduire la concentration du CO<sub>2</sub> dans le gaz brut de synthèse jusqu'à moins de 0,01% molaire (100ppm). Une solution aqueuse d'environ 20% molaire de MEA (mono éthanol amine) absorbe le CO<sub>2</sub> qui est un poison pour le catalyseur de

la synthèse de l'Ammoniac. Le gaz brut de synthèse contient environ 18,5% molaire du CO<sub>2</sub> à l'entrée de l'absorbeur. L'arrêt de la section décarbonatation nécessitera l'arrêt total de la synthèse de l'Ammoniac.

La section décarbonatation se situe dans la partie sud-ouest de l'unité de l'Ammoniac. Elle inclut l'équipement qui sert à purifier le gaz brut de synthèse sortant du convertisseur de shift de basse température 104-D jusqu'à la sortie du séparateur 118-F. Les circuits de régénération du MEA, avec ses auxiliaires, font partie intégrale de la section décarbonatation.

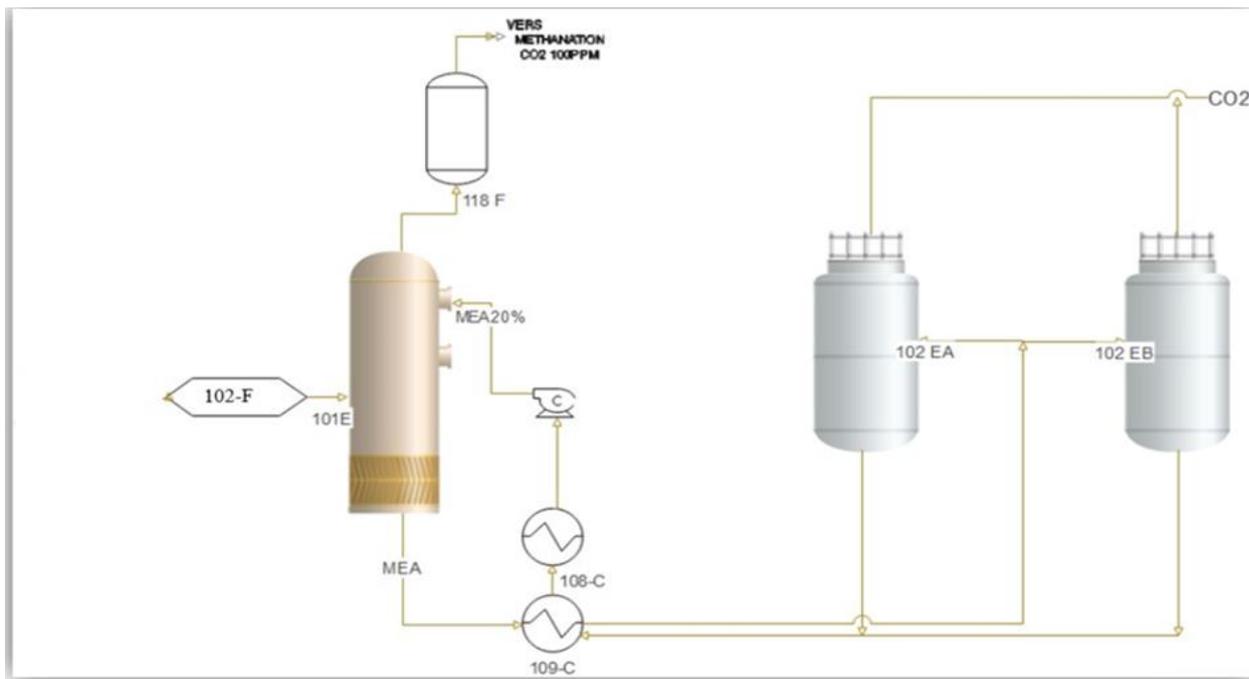
### *II.7.4.1.2 Description du procédé*

#### **a. Epuration du gaz de synthèse**

Dans cette partie de l'unité, le gaz de synthèse brut venant de 102-F à environ 27 bars effectifs et 63°C est traité pour extraire le gaz carbonique et une faible quantité résiduelle de monoxyde de carbone et produire un gaz de synthèse hydrogène/azote très pur avec un pourcentage de monoxyde carbonique (CO) de 0,6% mol sur la base d'un gaz sec. En effet, le gaz brut de synthèse provenant du convertisseur de shift BT : 104-D et contenant 18,5% de CO<sub>2</sub> est d'abord refroidi par une injection du condensat. Puis, il passe à contre-courant d'une solution de MEA pour être épuré dans l'absorbeur 101-E et sort du haut pour arriver finalement au séparateur 118-F. A ce point, le gaz ne doit contenir que 0,01% mol (100ppm) de CO<sub>2</sub>.

#### **b. Régénération de l'MEA**

La solution de MEA est riche à cause de sa forte teneur en CO<sub>2</sub> sort du fond de l'absorbeur 101-E. Une partie de ce débit est continuellement nettoyée par passage à travers le filtre 105-F. La solution de MEA est ensuite réchauffée par échange de chaleur dans l'échangeur 109-C avant d'entrer dans le haut des strippers du CO<sub>2</sub> : 102-EA et 102-EB. Les strippers fonctionnent à basse pression et haute température, une partie du CO<sub>2</sub> est libérée par l'effet du flash.

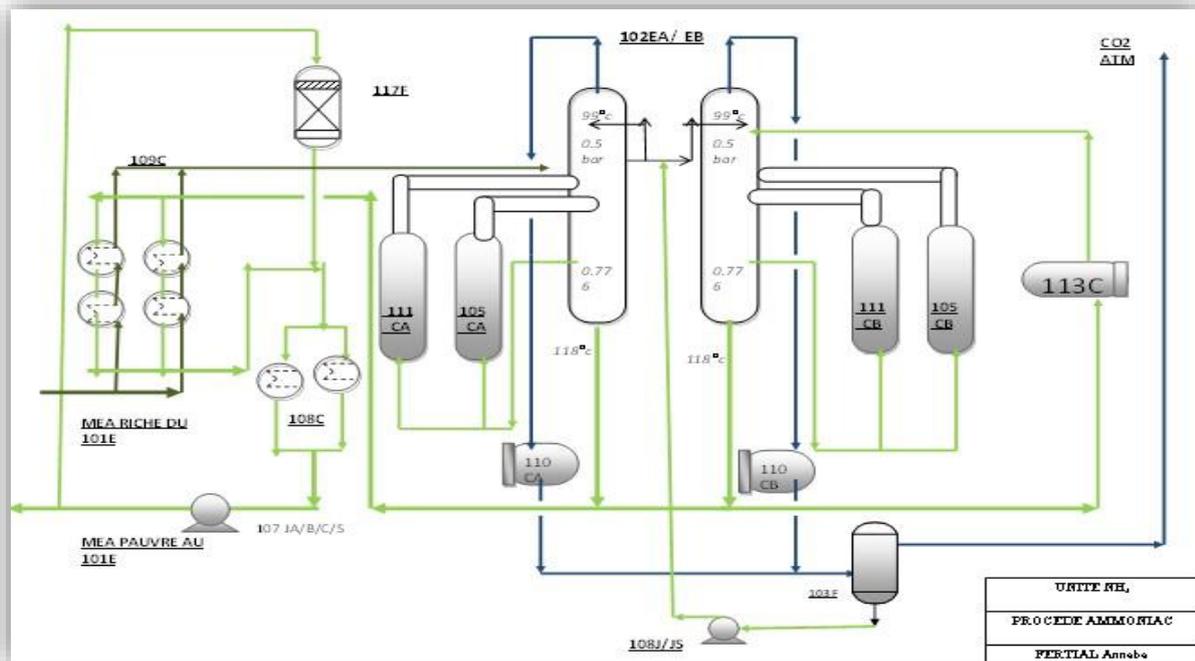


**Figure II.10 :** Schéma de la section décarbonatation.

La solution de MEA riche descend à travers les plateaux rencontre la vapeur d'eau et de MEA pauvre et leur cédant son contenu de CO<sub>2</sub>. La chute de pression à l'entrée des strippers 102-EA/EB sert aussi à dégager le CO<sub>2</sub> par effet de flash.

Les débits de solution de MEA régénérée sortant du fond des strippers à 118°C et 0,77 bar se réunissent avant de passer aux échangeurs 109-C1/C2. Une proportion du MEA pauvre est dirigée sur le vaporisateur 113-C. Dans cet appareil le MEA est réchauffé jusqu'à 138°C par échange avec la vapeur pour évaporer le MEA tout en laissant les produits lourds au fond du vaporisateur.

Le circuit principal de MEA pauvre de 46°C, est refoulé jusqu'au premier plateau de l'absorbeur 101-E. Le débit, normalement 967 m<sup>3</sup>/h, est mesuré par un capteur spécial. Une proportion du MEA pauvre au refoulement des pompes est déviée au filtre 117-F et rejoint le circuit principal à l'entrée des échangeurs 108-C1/C2. Voici le Circuit de régénération de la solution MEA (FigureII.11).



**Figure II.11:** Circuit de régénération de la solution MEA [8].

## II.7.5. Méthanisation [8]

Le gaz du procédé venant du séparateur 118-F de l'absorbeur du CO<sub>2</sub> se dirige vers le méthanateur 106-D, sa température étant accrue par l'échangeur de chaleur avec le gaz de synthèse qui vient du refoulement du premier étage de 103-J dans 136-C et par l'effluent du convertisseur de shift HT dans 104-C. Le contrôle de la température à environ 316°C à l'entrée du méthanateur est préalable.

Le gaz du procédé entre par le haut du méthanateur et traverse le lit catalytique au nickel où tous oxydes carboniques résiduels se transforment en méthane et eau. La chaleur exothermique de la réaction par méthanisation augmente la température du gaz de sortie jusqu'à environ 359°C.

Le méthanateur est calculé sur la base d'une concentration de du CO (0,61% mole) plus CO<sub>2</sub> (0,01 %mole) en se basant sur un gaz sec dans le gaz d'alimentation. Toute augmentation importante de concentration du CO ou du CO<sub>2</sub> aura pour résultat l'accroissement rapide des températures dans le récipient et du gaz de sortie.

Un système d'évacuation compris dans l'étude pour protéger le méthanateur contre HT, ferme la vanne à passage direct dans la ligne d'entrée du récipient. Une description complémentaire de la section apparaît sur le schéma. Le gaz qui sort du méthanateur est alors progressivement refroidi par l'eau d'alimentation de la chaudière dans 114-C, par l'eau déminéralisée dans 115-

C et enfin par l'eau tempérée dans 2003-F. Le gaz entre dans 104-F, le ballon à l'aspiration du compresseur du gaz de synthèse, à environ 38°C.

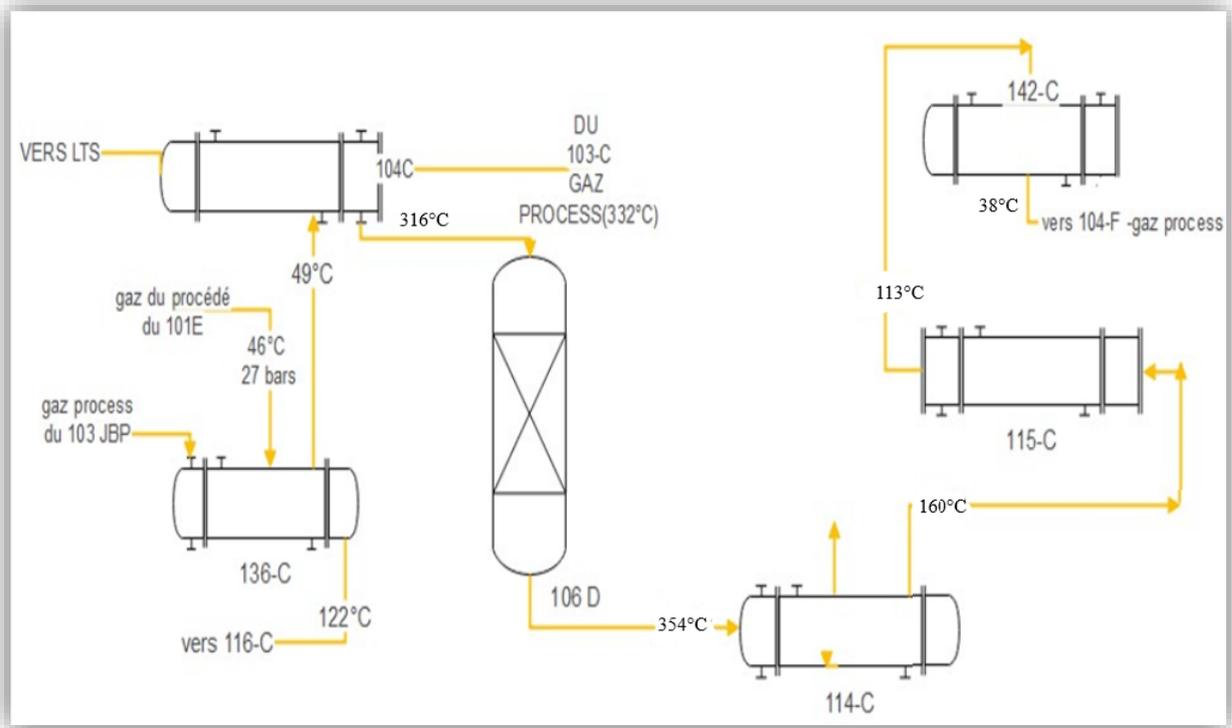


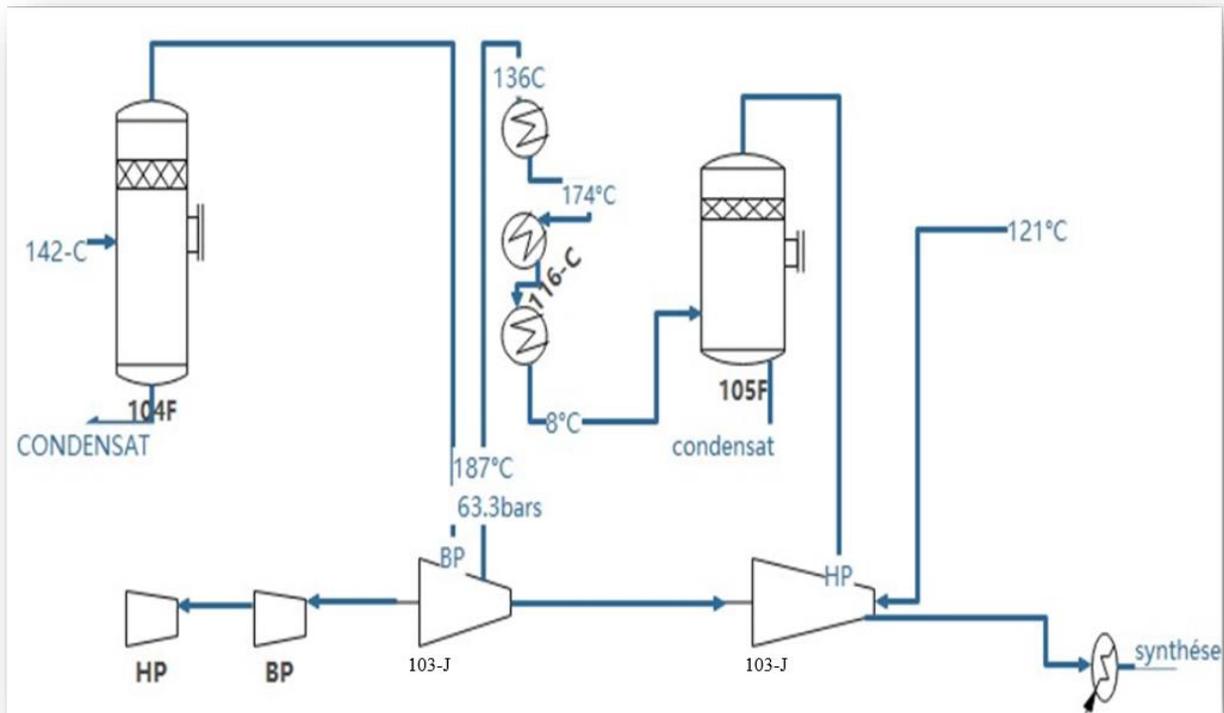
Figure II.12 : Schéma de la section de méthanisation.

### II.7.6.Synthese de l'Ammoniac [8]

#### II.7.6.1. Compression de gaz de synthèse et d'Ammoniac (NH<sub>3</sub>)

Le gaz de synthèse, venant du séparateur 104-F à une pression de 24,7 bars et une température de 38°C, est introduit dans l'étage à basse pression du compresseur 103-J où il est comprimé jusqu'à 63 bars et une température de 187°C. La chaleur créée par la compression est éliminée en faisant passer le gaz comprimé dans l'échangeur 136-C et le réfrigérant intermédiaire 116-C. Le gaz est refroidi jusqu'à 8°C dans le réfrigérant 129-C qui utilise l'Ammoniac liquide pour le refroidir. Il passe ensuite par le séparateur 105-F avant d'être aspiré au niveau du deuxième étage du compresseur avec le gaz recyclé venant du réacteur d'Ammoniac à une pression de 134 bars et une température de 43°C. Le mélange est refoulé du deuxième étage à une pression de 150 bars et une température de 74°C. Il est ensuite refroidi avec de l'eau déminéralisée jusqu'à 35°C dans l'échangeur 124-C. (Figure II.13)

Pendant la mise en route, ou lorsque la production du gaz de synthèse dépasse les besoins de la boucle de synthèse, le gaz est libéré à l'atmosphère par le collecteur de sortie 104-F.



**Figure II.13:** Compression de gaz de synthèse

### Qu'est-ce-que c'est la boucle de synthèse ?

Le gaz de synthèse refoulé de 103-J contenant 10% mol d' $\text{NH}_3$  est refroidi d'abord par échange avec l'eau dans l'échangeur 124-C. Ensuite, le collecteur se divise en deux circuits parallèles :

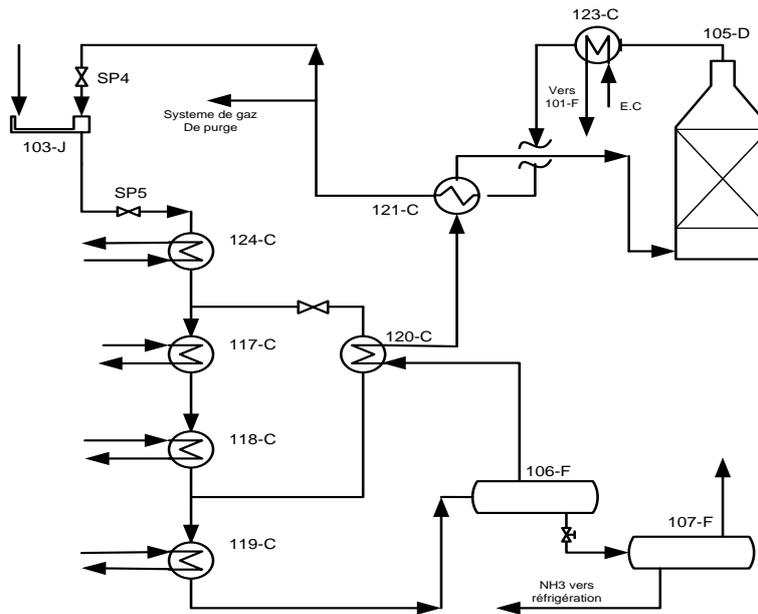
- 1) Une partie du débit procède à travers les échangeurs 117-C et 118-C pour être refroidi par échange avec l'Ammoniac de réfrigération.
- 2) L'autre partie passe à travers l'échangeur 120-C pour être refroidie par le gaz de synthèse du ballon 106-F.

Les deux courants se rejoignent pour finalement traverser l'échangeur d'Ammoniac 119-C et à ce point la plupart de l'Ammoniac dans le gaz de synthèse est condensée. Dans le ballon séparateur 106-F l'Ammoniac liquide est séparé du gaz de synthèse et sera détendu et dirigé vers le ballon 107-F. les inerts sont purgés vers le réseau de gaz combustible et l'Ammoniac liquide est envoyé au système de réfrigération.

Les vapeurs du ballon séparateur 106-F, ne contenant que d'Ammoniac, seront réchauffées jusqu'à 144°C avant d'entrer dans le réacteur 105-D pour conversion de l'hydrogène et de l'azote en ammoniac à 12% de concentration.

D'abord, les vapeurs passent par l'échangeur 120-C, ensuite traversent l'échangeur 121-C ; elles sont réchauffées par l'effluent du réacteur 105-D et normalement passent directement au réacteur. Un four de démarrage est prévu pour réchauffer le gaz de synthèse si nécessaire.

Le gaz de synthèse sortant du réacteur 105-D avec une température 299°C passe par l'échangeur 123-C où il sera refroidi par la vapeur d'eau jusqu'à 166°C, ensuite, il traverse l'échangeur 121-C pour se refroidir jusqu'à 43°C. Avant d'entrer dans le compresseur 103-J, un soutirage est prélevé pour purger les inertes.



**Figure II.14:** Schéma de la boucle de synthèse [8].

### II.7.6.2. Synthèse et réfrigération de l'Ammoniac

Le système de réfrigération d'Ammoniac à trois niveaux permet la récupération du produit Ammoniac contenu dans le gaz de synthèse et le gaz de purge. Il sert aussi à assurer le refroidissement entre les étages du compresseur 103-J. Le transfert du produit ammoniac vers stockage et les unités se fait à partir du système de réfrigération.

Les vapeurs d'Ammoniac refoulées du compresseur 105-J sont refroidies par échange avec l'eau de mer dans les échangeurs 127-CA/CB. L'Ammoniac ainsi condensée est accumulée dans le ballon 109-F et les gaz inertes sont enlevés à ce point, passant d'abord par l'échangeur d'Ammoniac 126-C avant de rejoindre le réseau du gaz combustible.

L'Ammoniac liquide du fond de 109-F traverse l'échangeur 143-C, avant d'être détendu et passé au ballon premier niveau 110-F pour réchauffer le produit d'NH3 envoyé vers l'unité ouest. L'Ammoniac liquide du fond du ballon 110-F traverse l'échangeur 117-C pour refroidir

le gaz de synthèse d'Ammoniac provenant du compresseur 103-J. Les vapeurs sont retournées à 110-F. Le liquide du 110-F sert aussi à refroidir les gaz de purge passant par l'échangeur 126-C et le gaz de synthèse traversant l'échangeur 129-C entre les étages du compresseur 103-J. Ces vapeurs sont envoyées au ballon deuxième niveau 111-F avec l'excédent du liquide requis pour maintenir un niveau. Les vapeurs d'Ammoniac du ballon 110-F sont aspirées par l'étage haut pression du compresseur 105-J.

L'Ammoniac liquide du fond du ballon 111-F est envoyé à l'échangeur 118-C pour refroidir le gaz de synthèse d'Ammoniac provenant du compresseur 103-J. Les vapeurs produites sont retournées au ballon 111-F. L'excédent du liquide est détendu et dirigé vers le ballon troisième niveau 112-F. Les vapeurs du ballon 111-F sont aspirées par l'étage intermédiaire du compresseur 105-J.

L'Ammoniac liquide du fond du ballon 112-F est envoyé à l'échangeur 119-C pour refroidir le gaz de synthèse d'Ammoniac provenant du compresseur 103-J. L'excédent est pompé vers le bac de stockage ou envoyé à l'unité ouest. L'Ammoniac liquide venant de la boucle de synthèse passe d'abord dans l'échangeur 125-C pour refroidir les gaz de purge ou peut passer directement dans le ballon 112-F. Les vapeurs des échangeurs 125-C et 119-C se rejoignent pour retourner à 112-F. Les vapeurs d'Ammoniac du haut du ballon 112-F, les vapeurs d'Ammoniac du haut du ballon 111-F sont aspirées par l'étage bas pression du compresseur de réfrigération 105-J.

Les gaz inertes sont purgés du système mais leur contenu d'Ammoniac doit être récupéré par refroidissement et séparation [8].

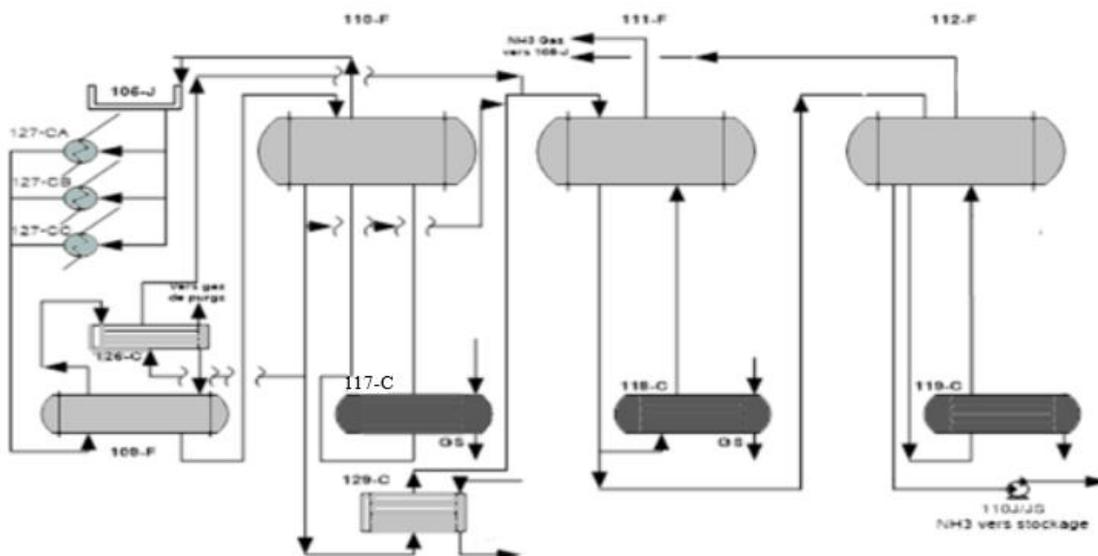


Figure II.15: Schéma de réfrigération.

### II.8. STOCKAGE ET DISTRIBUTION DU PRODUIT [8]

L'Ammoniac est extrait du ballon de détente du troisième étage de réfrigération, 112-F à -33°C. Les pompes 110-J/JS refoulent 1000 T/J au réservoir de stockage. Le débit réel est déterminé par rapport au niveau de l'Ammoniac dans le ballon et est contrôlé par un régulateur de niveau : LC-135.

De plus, des dispositions sont prises pour fournir de l'Ammoniac à la température ambiante (10°C), à d'autres installations consommatrices et jusqu'à concurrence de 750 T/J. Le reste de production est dirigé vers le stockage à -33°C.

Une collaboration étroite doit exister entre le personnel d'exploitation de l'unité d'Ammoniac et celui des unités consommatrices. Les renseignements relatifs aux changements imminents dans les installations doivent être échangés bien à l'avance pour éviter les changements brusques des conditions.



**Figure II.16:** Bac de stockage de l'Ammoniac (NH<sub>3</sub>).

### II.9. CONCLUSION

Dans cette partie on a étudié en détail :

La propriété, le procédé de synthèse ainsi que l'importance de l'Ammoniac autant que matière première dans toutes les filières de l'industrie chimique. Cependant ces matières premières qui servent à synthétiser NH<sub>3</sub> contiennent toujours le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui constitue un poison pour le catalyseur.

## **III.LA RECUPERATION DU DIOXYDE DE CARBONE**

### **III.1 INTRODUCTION**

Sur notre planète, l'air est une des ressources les plus importantes dont dépend la vie. Par-delà les années, la modernisation et le progrès ont provoqué un accroissement de la pollution de l'air, les principaux facteurs responsables étant l'industrie, la circulation automobile, et l'urbanisation.

L'une d'elles est l'usine de Fertial Annaba dans laquelle ils émettent environ 32 172 Nm<sup>3</sup>/h du CO<sub>2</sub> généré après la section de décarbonatation au niveau d'unité Ammoniac.

Il est important de valoriser le dioxyde de carbone produit, dont la production peut atteindre 57394 Kg/h pour 41600 Kg/h d'Ammoniac produit. Cela permet d'augmenter le rendement global de l'installation. Le dioxyde de carbone produit est peut-être récupéré, purifié et réutilisé pour produire l'urée (engrais) à partir notamment d'Ammoniac, ou employé dans l'industrie alimentaire comme la production de boissons gazeuses. Donc dans ce chapitre on va présenter les méthodes de captage et de stockage de ce dernier.

### **III.2 LES PROCEDES DE DECARBONTATION [9]**

La décarbonatation est un procédé destiné à réduire la teneur en CO<sub>2</sub>, c'est-à-dire en dioxyde de carbone (ou gaz carbonique). Le dioxyde de carbone étant un des principaux gaz à effet de serre avec la vapeur d'eau, la décarbonatation a tout son intérêt, surtout lorsqu'on sait que la durée de vie du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est d'environ 100 ans.

Il y a plusieurs procédés de décarbonatation comme l'adsorption, l'absorption et membrane, cette dernière est divisée à deux procédés physique et chimique, l'absorption est une réaction entre deux fluides mais l'adsorption est une opération entre liquide et solide comme montre la figure III.1.

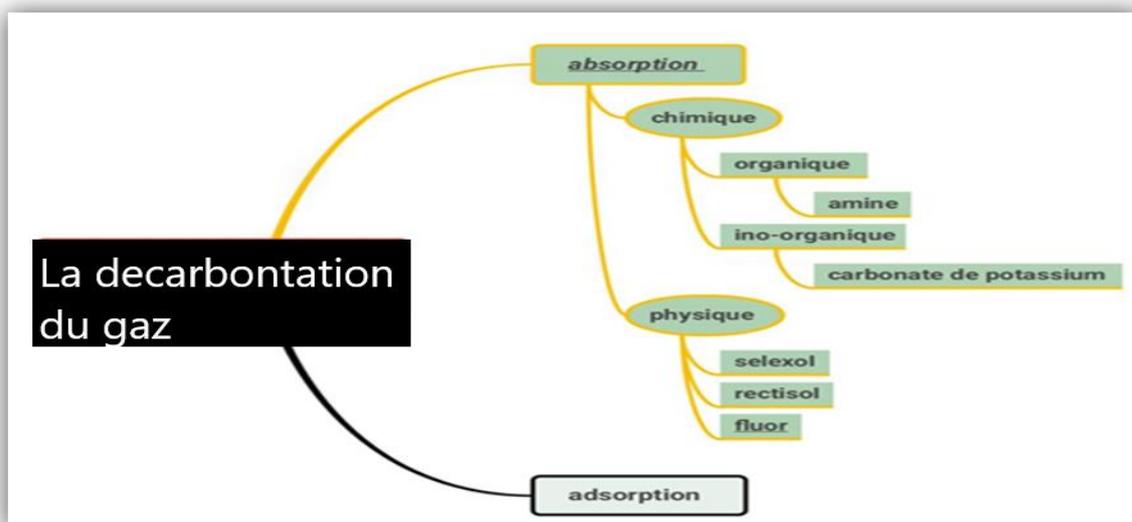


Figure III.1 : Organigramme de procédé de la décarbonatation.

Il existe un procédé de décarbonatation du gaz naturel par membrane, le principe étant de profiter de la différence de perméabilité des membranes vis-à-vis des différents éléments entrant dans la composition du gaz naturel pour en extraire le CO<sub>2</sub> (le dioxyde de carbone traverse plus vite la membrane que le méthane).

### III.3 DECARBONTATION DU GAZ NATUREL PAR ABSORPTION [9]

L'absorption est un procédé de dissolution ou de réaction chimique pendant lequel des molécules de gaz sont dissoutes dans un solvant. L'absorption de gaz acides en faible concentration (CO<sub>2</sub>, NOX, H<sub>2</sub>S) avec des amines est un procédé connu depuis longtemps dans l'industrie chimique. Les procédés d'adsorption consistent à exploiter la capacité de certains solides, à concentrer sur leurs surfaces des substances afin de les retirer d'un mélange liquide ou gazeux. Le but est donc d'extraire le CO<sub>2</sub> par chimie-sorption en créant des liaisons chimiques fortes avec la surface du solide. Les molécules du gaz se fixent sur ces supports, l'adsorbant étant des filtres moléculaires ou zéolithes.

À noter qu'en faisant varier la pression au cours du traitement, il est possible de séparer différents composés tels que le CO<sub>2</sub>, mais aussi l'eau ou l'oxygène.

- **La décarbonatation à FERTIAL** : la section de décarbonatation est située dans la partie sud-ouest de l'unité d'ammoniac. Elle inclut l'équipement qui sert à purifier le gaz brut de synthèse sortant du convertisseur de shift de basse température 104-D jusqu'à la sortie du séparateur de 118-F. les circuits de régénération du MEA, avec ses auxiliaires, font partie

intégrale de la section de décarbonatation. Le rôle de la section de décarbonatation est de réduire la concentration du CO<sub>2</sub> dans le gaz brut de synthèse jusqu'à moins de 0.01%.

**NB :** débit du CO<sub>2</sub> sec dégagé est : 27203 Nm<sup>3</sup>/h, } T= 73°C et P= 1,28 bar  
Et le débit de la vapeur d'eau est : 4969 Nm<sup>3</sup>/h. }



**Figure III.2:** L'émission du CO<sub>2</sub> au niveau de strippers 102EA/B (section décarbonatation) à l'unité d'Ammoniac Fertial –Annaba.

### III.4 LE DIOXYDE DE CARBONE [10]

Appelé parfois, de façon impropre « gaz carbonique » est un composé chimique composé d'un atome de carbone et de deux atomes d'oxygène et de la formule brute est CO<sub>2</sub>. Dans les conditions normales de température et de pression, le dioxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et à la saveur piquante communément appelée gaz carbonique ou encore anhydride carbonique. Il se trouve dans l'atmosphère dans une proportion approximativement égale à 0,0375 % en volume.

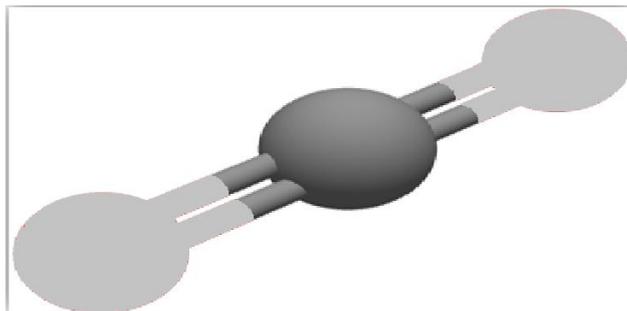


Figure III.3 : Représentation 3D du Dioxyde de Carbone

### III.5 .GENERALITE SUR LE DIOXYDE DE CARBONE

#### III.5.1 Les propriétés du co<sub>2</sub> [10]

Le tableau suivant récapitule les propriétés physicochimiques du CO<sub>2</sub>

Tableau III.1 : Propriétés physicochimiques du CO<sub>2</sub>

PROPRIETES	VALEURS
Formule brute	CO <sub>2</sub>
Nom IUPAC	Dioxyde de carbone
Apparence	Gaz incolore
Solubilité	1.45 kg/m <sup>3</sup>
Température de fusion	-78,5°C
Densité (gaz, 1bar, 25 °C)	1.784 Kg/m <sup>3</sup>
Point triple	-57 °C et 0,0052 bars
Point critique	31°C et 73,7 bars
Masse moléculaire	44.01 kg/kmol
Liquide	Pression <415,8 kPa
Solide	Température< -78 °C

#### III.5.2 Sous forme gazeuse

Le CO<sub>2</sub> sous forme gazeuse a beaucoup d'utilisations, on cite par exemple :

- L'extinction des feux : beaucoup de Datacenter, salles des archives sont équipées d'un système qui, en cas d'incendie, remplit la salle du CO<sub>2</sub> ce qui a pour effet d'éteindre le feu,

- Composant pétillant dans les boissons gazeuses,
- En aquariophilie et culture sous serre pour une meilleure croissance des plantes,
- En emballage à atmosphère contrôlée comme élément neutralisant.

### III.5.3 Sous forme liquide

Sous forme liquide, il est utilisé comme :

- Réfrigérant pour congeler certains aliments,
- Réfrigérant dans l'industrie électronique,
- Agent d'extinction dans les extincteurs dits « au dioxyde de carbone », on parle parfois de neige carbonique parce que le CO<sub>2</sub> liquide se solidifie immédiatement à la sortie de l'extincteur en produisant une poudre blanche,

A pression atmosphérique, le dioxyde de carbone n'est jamais sous forme liquide. Il passe directement de la forme solide à la forme gazeuse (sublimation).

### III.5.4 Sous forme solide

Le dioxyde de carbone sous forme solide a de nombreuses applications :

« Glace carbonique », « neige carbonique », « carboglace », « glace sèche ».

Il est issu de la solidification du CO<sub>2</sub> liquide. On obtient de la neige carbonique qui est ensuite comprimée pour obtenir de la glace carbonique.

### III.5.5 En phase supercritique

Au-delà de son point critique ( $T_c = 31,1^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 7.4 \text{ MPA}$ ), le dioxyde de carbone entre dans une phase appelée supercritique. Le dioxyde de carbone supercritique est employé comme solvant vert, les extraits étant exempts de trace de solvant. sous cette forme, il sert :

- A la décaféinassions du café,
- A l'élimination de la 2,4,6-trichloroanisole (TCA) des bouchons de liège traités au chlore pour éviter de donner un gout bouchonné au vin après sa mise en bouteille,
- A l'extraction de composé chimique ou biologique,
- A la purification de composés chimiques (phase mobile en chromatographie).

### III.5.6 Utilisation du CO<sub>2</sub> [10]

1) Le CO<sub>2</sub> présente une large gamme d'applications.

- ✚ Le plus évident est le gaz utilisé pour les boissons gazeuses, en particulier la bière, les boissons non alcoolisées et le vin.
- ✚ Le dioxyde de carbone peut également être utilisé pour décaféiner le café.

2) CO<sub>2</sub> utilisé dans l'industrie chimique de très grandes quantités de CO<sub>2</sub> sont utilisées comme matière première pour la production de méthanol et d'urée.

3) Utilisations du CO<sub>2</sub> dans le traitement des eaux :

✚ **L'eau potable** : Dans une station qui produit l'eau potable, l'emploi de dioxyde de carbone est un standard. Son emploi est pour la maintenance et l'équilibre de calco-carbonique de l'eau. Ce gaz est en particulier utilisé dans les étapes de déminéralisation d'eau dans 99% des cas.

✚ **La neutralisation des effluents** : L'utilisation du CO<sub>2</sub> a de nombreux avantages en matière de neutralisation. D'abord, la sécurité est renforcée par apport à l'utilisation d'un acide fort sous forme liquide, comme l'acide sulfurique ou chlorhydrique.

L'augmentation de la concentration du CO<sub>2</sub> dans l'air est corrélée au réchauffement de la planète. Le CO<sub>2</sub> est en partie responsable de l'effet de serre. Ce qui engendre l'augmentation des températures et ainsi, la perturbation de notre écosystème.

À des concentrations élevées, le dioxyde de carbone peut déplacer l'oxygène de l'air, privant ainsi le corps d'oxygène, ce qui peut causer une perte de conscience. Le dioxyde de carbone agit également comme un puissant déprimeur du système nerveux central.

Un manque d'oxygène peut provoquer divers symptômes, notamment :

- ✦ Une respiration rapide;
- ✦ Un rythme cardiaque rapide;
- ✦ De la maladresse;
- ✦ Une réaction émotive;
- ✦ De la fatigue;
- ✦ Des nausées et des vomissements;
- ✦ Un effondrement;
- ✦ Des convulsions;
- ✦ Le coma;
- ✦ La mort.

### III.6. SOURCES D'EMISSION DU CO<sub>2</sub> [11]

La majorité des émissions du CO<sub>2</sub> proviennent de l'utilisation des combustibles fossiles : Pétrole, charbon et gaz. Leur combustion, dans les installations industrielles et dans les véhicules notamment, dégage du CO<sub>2</sub> (figure III.4).

Dans le monde, les émissions de gaz à effet de serre coûtent environ trente milliards de tonnes équivalent CO<sub>2</sub>. Environ 80% de ces émissions proviennent de l'utilisation des énergies fossiles.



Figure III.4: Les sources industrielles de CO<sub>2</sub> [11]

### III.7. LES PROCÉDES DE CAPTAGE DU CO<sub>2</sub> DANS LE MONDE [11]

On peut compter plusieurs procédés de capture de CO<sub>2</sub> qui peuvent être utilisés pour capturer le CO<sub>2</sub> rejeté, en fonction de la source et de la quantité du CO<sub>2</sub> à capturer. Les différents procédés pour capturer le CO<sub>2</sub> sont :

1. *Le captage par postcombustion* : Ce procédé sert à capturer le CO<sub>2</sub> après la combustion de combustibles fossiles. Elle utilise des solvants pour absorber le CO<sub>2</sub> dans les gaz de combustion. Les solvants peuvent ensuite être régénérés pour récupérer le CO<sub>2</sub> pur.

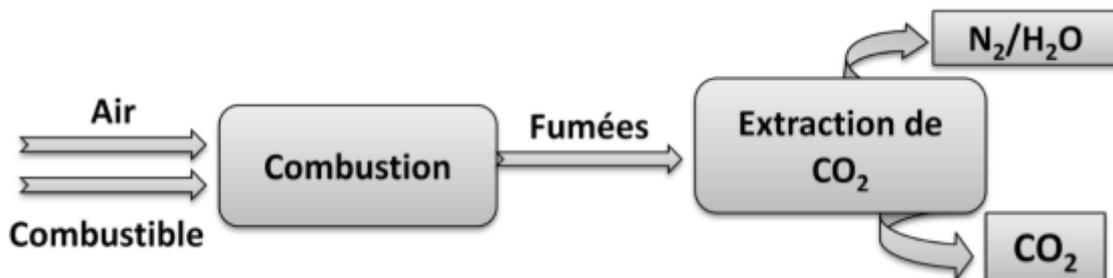
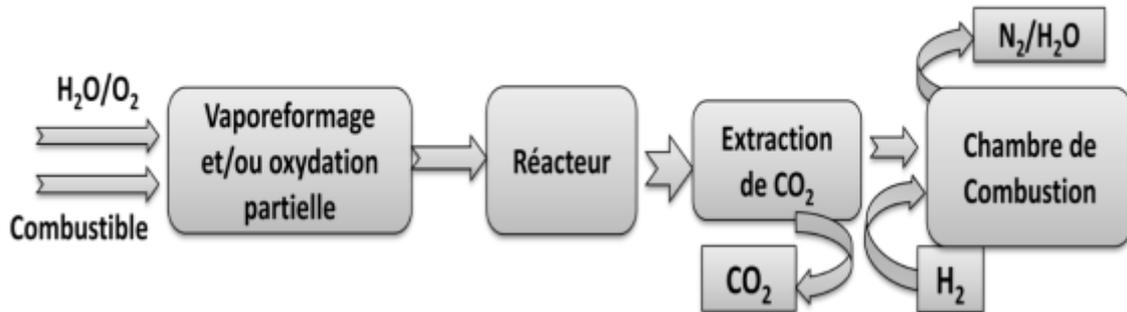


Figure III.5: Captage du CO<sub>2</sub> par postcombustion. [12]

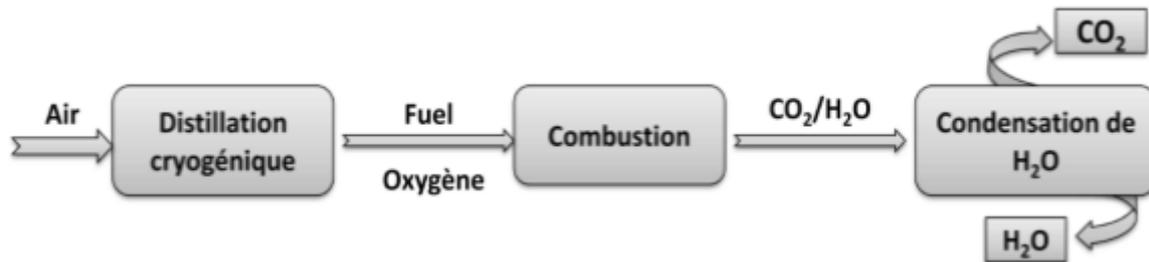
2. *Le captage par précombustion* : Ce procédé sert à capturer le CO<sub>2</sub> avant la combustion de combustibles fossiles. Elle consiste à convertir le combustible en gaz de synthèse, qui est

ensuite traité pour capturer le CO<sub>2</sub>. Ce procédé est souvent employé pour la production d'hydrogène (H<sub>2</sub>) à partir de gaz naturel.



**Figure III.6** : Captage du CO<sub>2</sub> par précombustion. [12]

3. *Le captage du CO<sub>2</sub> par l'oxycombustion* : Ce procédé a pour but de brûler le combustible dans une atmosphère d'oxygène pur plutôt qu'avec de l'air, ce qui produit un gaz de combustion concentré en CO<sub>2</sub>. Ce gaz est ensuite traité pour capturer le CO<sub>2</sub>.



**Figure III.7** : Captage du CO<sub>2</sub> par l'oxycombustion. [12]

4. *Capture biologique* : Ce procédé dépend des micro-organismes pour capturer le CO<sub>2</sub>. Les micro-organismes peuvent être cultivés dans des bioréacteurs, où ils utilisent le CO<sub>2</sub> pour produire de la biomasse.

5. *Capture minérale* : Ce procédé emploie des minéraux pour capturer le CO<sub>2</sub>. Les minéraux réagissent chimiquement avec le CO<sub>2</sub> pour former des composés solides qui peuvent être stockés.

Ces procédés de capture de CO<sub>2</sub> peuvent être utilisées seules ou combinées pour capturer le CO<sub>2</sub> rejeté. Cependant, il est indispensable de noter que la capture de CO<sub>2</sub> est un processus qui nécessite de l'énergie et à un coût, il est donc important d'évaluer les coûts et les avantages de chaque procédé en fonction des besoins spécifiques de chaque installation.

### III.8. METHODE DE SEPARATION DU CO<sub>2</sub> [11]

La séparation du CO<sub>2</sub> humide est un processus dépend de la séparation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'air humide.

Voici les étapes générales pour effectuer une séparation de CO<sub>2</sub> humide :

1. Refroidissement et condensation : l'air humide est refroidi et condensé pour récupérer l'eau, ce qui permet de réduire la quantité d'eau dans le flux d'air.
2. Absorption : le flux d'air est ensuite dirigé vers un absorbeur où il est mis en contact avec un solvant, tel que le mono éthanol amine (MEA). Le CO<sub>2</sub> est absorbé par le solvant, ce qui permet sa séparation de l'air.
3. Désorption : le solvant chargé du CO<sub>2</sub> est ensuite dirigé vers un débourbeur où il est chauffé pour libérer le CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est ensuite récupéré en tant que produit final.
4. Régénération : le solvant est ensuite récupéré et régénéré avant d'être réutilisé dans le système d'absorption.

Il est nécessaire de noter que la séparation de CO<sub>2</sub> humide est un processus complexe qui nécessite une connaissance approfondie de la chimie et du génie chimique. Il existe plusieurs procédés de configuration possible pour la séparation du CO<sub>2</sub> humide, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. La consultation des experts est recommandée pour choisir le procédé le plus approprié en fonction des objectifs de séparation, des coûts, de la disponibilité de l'eau et d'autres facteurs.

### III.9 PROCEDE DE RECUPERATION PROPOSE [12]

Le procédé de récupération comme il est présenté dans la figure III.8 consiste à récupérer toutes les quantités du gaz carbonique rejetées vers l'atmosphère dans la section de décarbonatation par les six trains du complexe à partir de leurs lignes respectives en aval des vannes (PV) des ballons de séparation.

La ligne du train va alimenter un collecteur principal qui alimentera l'échangeur afin d'éliminer l'humidité entraînée par le flux du gaz carbonique et protéger les compresseurs de gouttelettes d'eau.

L'eau contenue dans le flux gazeux sera condensée et séparée dans un ballon de séparation pour finir dans le système de décantation des hydrocarbures. Ce flux de gaz carbonique sera aspiré ensuite par un compresseur et refoulé à une pression de 7 bar.

Pour assurer en permanence l'alimentation en gaz carbonique de nos clients, deux compresseurs sont recommandés.

Afin d'éviter tout dysfonctionnement des colonnes de régénération des trains en cas de problème en aval des compresseurs, on installe d'un évent (ligne vers atmosphère) au niveau du ballon d'aspiration avec une vanne de régulation de pression (PV) et un clapet anti-retour.

### III.9.1 Choix des équipements pour la récupération du CO<sub>2</sub> [12]

Dans ce paragraphe nous allons donner un aperçu sur le principe du choix des équipements principaux composant le procédé proposé ci-dessus.

#### 1. Les conduites

Des conduites en acier inoxydable à faible teneur en carbone sont utilisées pour toutes parties en contact avec le CO<sub>2</sub> humide.

#### 2. Echangeur 1

L'étape de dimensionnement permet de s'orienter vers l'appareil qui convient le mieux.

La meilleure exploitation du potentiel thermique existant entre la source chaude et la source froide en agénçant au mieux la circulation des fluides dans les divers échangeurs dans une usine commence à être étudiée.

La technologie d'échangeurs la plus souvent rencontrée sur les grosses installations sera du type « tube-calandre ».

Le matériel utilisé est : capron –Nickel 0,5%

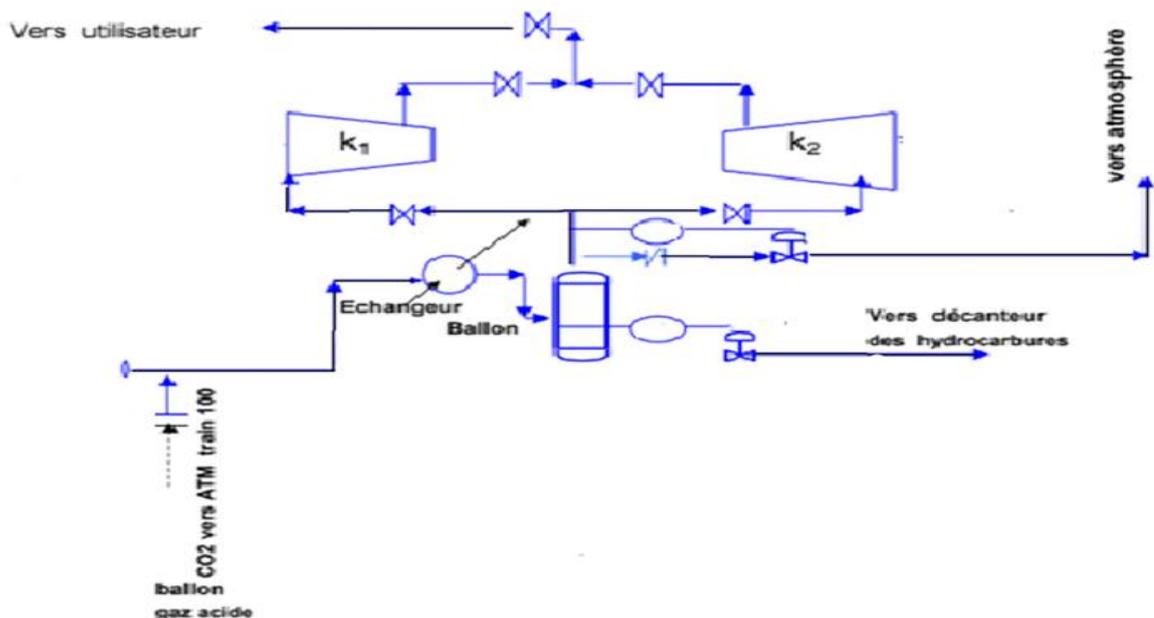


Figure III.8: Procédé de récupération proposé.

### 3. Ballon

Il existe deux types de ballon de séparation

- ❖ Le ballon vertical ;
- ❖ Le ballon horizontal.

Les séparateurs peuvent être équipés de dépisteur et de déflecteur.

On opte pour un séparateur vertical si le rapport débit vapeur et débit liquide est élevé, et pour un séparateur horizontal si le rapport de débit vapeur et débit liquide est faible

### 4. Compresseur

On peut faire le choix de notre compresseur comme suit:

- Minimisation des frais d'investissement en capitaux ;
- Minimisation des frais de maintenance ;
- Puissance de rendement requis ;
- Souplesse ;
- Considération intéressant l'environnement.

### 5. Echangeur 2

Echangeur de type faisceaux calandre pour abaisser la température de sortie de compresseur vu que la température sortie compresseur de l'échangeur choisis va être plus grande, c'est-à-dire que la surface d'échange est plus grande que les autres.

## III.10. ETUDE ECONOMIQUE DE PROCEDE DE RECUPERATION PROPOSE [12]

Afin de déterminer le budget de financement de ce projet on a inclue dans nos calculs les principaux équipements et tuyauteries qu'on a choisi, et qui sont cités auparavant. Les résultats de ces calculs sont répertoriés dans le Tableau III.2.

**Tableau III.2.** Les estimations financières pour la réalisation du projet

Équipement	Quantité	Prix unitaire (Dinar)	Totale (Dinar)
Compresseur	2	$55 \times 10^5$	11000000,00
Ballon	1	$656 \times 10^4$	6560000,00
Vannes	3	$20 \times 10^4$	600000,00
Tuyauteries	3000	$10 \times 10^3$	30000000,00
Echangeur 1	1	$183 \times 10^5$	18300000,00
Echangeur 2	1	$117 \times 10^5$	11700000,00
Montant totale des équipements			254920000,00

### III.11.STOCKAGE DU CO<sub>2</sub> [13]

Le stockage du CO<sub>2</sub>, également appelé séquestration géologique du CO<sub>2</sub>, est une technique qui consiste à capturer le CO<sub>2</sub> rejeté par les activités industrielles, à le transporter et à le stocker de manière permanente dans des formations géologiques souterraines. Cette technique est considérée comme une solution possible pour réduire les émissions du gaz à effet de serre dans l'Atmosphère. Mais n'est plus retenu aujourd'hui, étant donné les risques pour les écosystèmes sous-marins.

### III.12.CONCLUSION

Cette partie a été consacrée à la présentation du procédé de décarbonatation, la description, les différents aspects de la pollution atmosphérique, de l'origine des polluants et des effets sur la santé humaine.

Puis, nous avons présenté les différentes méthodes de captage et stockage de CO<sub>2</sub>. A la fin de cette partie, on a proposé une méthode de séparation du CO<sub>2</sub> humide pour l'intégrer dans la production de l'urée par simulation en exposant une étude économique (le coût de la separation).

## IV. SIMULATIONS DE PROCEDE DE L'UREE

### IV.1. INTRODUCTION

L'urée (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO est devenu un des meilleurs engrais azotés simples avec la teneur en azote la plus élevée, ce qui représente un avantage pour le producteur, le transporteur et l'utilisateur. Sa production mondiale annuelle dans les années nonante atteignait les 90 MT, elle dépasse actuellement les 150 MT. 80% de celle-ci est utilisée pour les engrais mais une partie est notamment employée pour la fabrication des polyurées (colles, vernis, agglomérés, etc.). La fabrication industrielle d'urée est réalisée au départ d'Ammoniac et de dioxyde de carbone, dont la production simultanée est souvent obtenue lors de la synthèse d'Ammoniac.

L'HYSYS est un logiciel de simulation de procédé développé par Aspen technologie. Dans cette partie, on va étudier de la simulation de production de l'urée par HYSYS.

### IV.2. DEFINITION [14]

L'urée ou carbamide est un composé organique de formule chimique CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>. C'est aussi le nom de la famille des dérivés de l'urée de formule générale (RI, R2) N-CON (R3, R4). La plus importante utilisation actuelle se fait sous la forme d'engrais azotés. L'urée est hydrolysée en ammoniac et en dioxyde de carbone dans le sol.

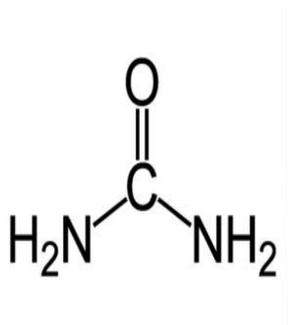


Figure IV.1 : Molécule d'urée.

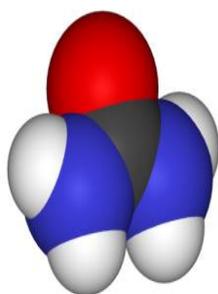


Figure IV.2 : Urée granulé.

### IV.3. PROPRIETE PHYSICO-CHIMIQUES [15]

Le tableau suivant récapitule les propriétés physique-chimique de l'urée

Tableau IV.1 : Propriété physique-chimique de l'urée.

Propriété	Valeur
Formule	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
Apparence	solide blanc, cristallin, dans les conditions ambiantes.

Masse moléculaire	60,06
Température de fusion	132,6 C
Masse volumique apparente (en vrac)	740 kg/m <sup>3</sup>
Enthalpie de dissolution dans l'eau	243 J/g (réaction endothermique)

#### IV.4. UTILISATION DE L'UREE [15]

L'urée est soluble dans l'eau, le benzène et l'alcool, légèrement soluble dans l'éther.

Il est également utilisé pour la fabrication comme matière première dans le BLENDING avec d'autres matières premières (sulfate d'Ammonium, DAP, etc.).

- C'est l'engrais le plus consommé dans le monde agricole ;
- Il fournit de l'azote, qui est essentiel pour la plante ;
- Il fournit 46 UF ;
- L'azote est la voie nécessaire pour la synthèse de la chlorophylle ;
- L'urée, avec son apport en azote, est l'un des composants de l'apport vitaminique de la plante ;
- L'azote est primordial, c'est un des composants des acides aminés qui est responsable de l'augmentation des protéines dans les plantes, ce qui entraîne un développement parfait des feuilles, des bourgeons et des tiges ;
- Dans les cultures céréalières, c'est le premier facteur qui détermine la quantité de protéines dans la formation des grains ;
- Il est hygroscopique, a la capacité d'absorption de l'eau de l'atmosphère.

L'urée est une substance :

- Non toxique ;
- Non cancérigène ;
- Non inflammable.

#### IV.5. GENERALITES SUR LA PRODUCTION DE L'UREE [15]

L'Urée reste l'engrais azoté solide d'usage commun ayant la plus forte teneur en azote, présentant ainsi les plus faibles coûts de transport par unité d'Azote nutritif.

Cette qualité ainsi que son aptitude à la fertilisation en zone humide pour la culture du riz en font l'un des engrais azotés les plus utilisés avec une demande en forte croissance dans les pays du Sud-Est asiatique.

L'urée est synthétisée à partir de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone. Sa production est pratiquement toujours associée à la production d'Ammoniac, et par la même à la production des hydrocarbures, plus particulièrement du gaz naturel.

Les procédés de fabrication n'ont pas subi de grand changement depuis 1990, les objectifs principaux d'améliorations apportées restant toujours la réduction de la consommation énergétique, la réduction de la pollution et l'optimisation des coûts d'investissement.

La production d'urée présente plusieurs avantages, notamment :

- Ressource abondante : L'urée est produite à partir d'Ammoniac, qui est fabriqué à partir de gaz naturel. Le gaz naturel est une ressource abondante dans de nombreuses régions du monde, ce qui garantit une disponibilité constante de matière première pour la production d'urée.
- Utilisation polyvalente : L'urée est utilisée dans de nombreux domaines, notamment dans la production d'engrais, de produits chimiques, de résines, de plastiques et d'additifs pour carburants. Cette polyvalence assure une demande constante pour l'urée et donc une production continue.
- Grande efficacité : Le processus de production de l'urée est très efficace, avec un rendement élevé par rapport à la quantité de matière première utilisée. Le processus de production d'urée est également relativement simple et peut être automatisé, ce qui permet de produire de grandes quantités d'urée à moindre coût.
- Faible impact environnemental : Contrairement à d'autres types de fertilisants azotés, l'utilisation d'urée comme engrais a un impact environnemental relativement faible. L'urée est une source d'azote à libération lente qui permet une utilisation plus efficace de l'Azote par les plantes et réduit les pertes d'azote dans l'environnement. De plus, le processus de production d'urée est relativement propre, avec des émissions de gaz à effet de serre relativement faibles.

#### **IV.6. PRINCIPE DU PROCEDE [16]**

Il consiste à faire réagir le dioxyde de Carbone et l'Ammoniac sous forte pression et à des températures relativement élevées. Il en résulte une phase liquide dans laquelle les réactants se trouvent sous forme de carbamate d'ammonium ionisé, qui est transformé ensuite en urée par déshydratation.

La condensation de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone est une réaction de conversion hétérogène, fortement exothermique :

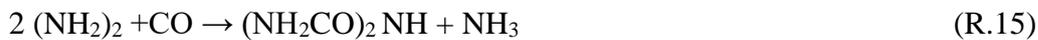


La première réaction, conduisant au Carbamate d'Ammonium, est exothermique et de conversion élevée à haute pression.

La formation de l'urée est ensuite une réaction endothermique équilibrée, se produisant en phase liquide :



**Note** : dans une réaction secondaire qui correspond à une dégradation thermique de l'urée, il se forme un composé indésirable:



La réaction de formation de l'urée est régie par un équilibre ternaire entre CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> et H<sub>2</sub>O dans lequel se retrouvent ces divers constituants, ainsi que le carbamate et l'urée formés. Le carbamate est un produit intermédiaire instable qui se transforme en urée et eau, ou se décompose en NH<sub>3</sub> et CO<sub>2</sub>. Il est donc nécessaire, pour évacuer les réactants n'ayant pas réagi, de procéder à un stripage (stripping) soit au dioxyde de carbone, soit à l'Ammoniac.

### IV.7. CARACTERISTIQUE DES PROCÉDES [16]

Il existe plusieurs procédés de fabrication d'urée qui utilisent généralement les mêmes principes de réactions, mais qui diffèrent par leurs conditions opératoires au niveau de la synthèse et du recyclage des réactants.

Nous citons ici les quatre procédés les plus utilisés dans le monde, par ordre d'importance :

- ✦ Le procédé Stamicarbon (Pays-Bas) ;
- ✦ Le procédé Snam Progetti (Italie) ;
- ✦ Le procédé Mitsui-Toatsu-Toyo (Japon) ;
- ✦ Le procédé Montedison/Technimont (Italie).

Des compagnies de taille plus modeste ont développé un savoir - faire de conception des ateliers d'urée appliqué surtout au remodelage des installations existantes :

- ✦ Urea Casale (Italie et Suisse) ;
- ✦ Urea Technology Inc. (UTI) (États-Unis).

## IV.8. MATIERE PREMPIRE [16]

- Ammoniac ;
- Dioxyde de carbone ;
- Vapeur HP ;
- Condensat de vapeur ou eau déminéralisée ;
- Air comprimé ;
- Air instruments ;
- Eau de refroidissement.

## IV.9. LES ETAPES DE PRODUCTION [16]

La synthèse commerciale de l'urée est réalisée par la réaction d'Ammoniac et du dioxyde de carbone à haute pression formant du carbamate d'ammonium, qui est ensuite déshydraté thermiquement, formant de l'urée et de l'eau :

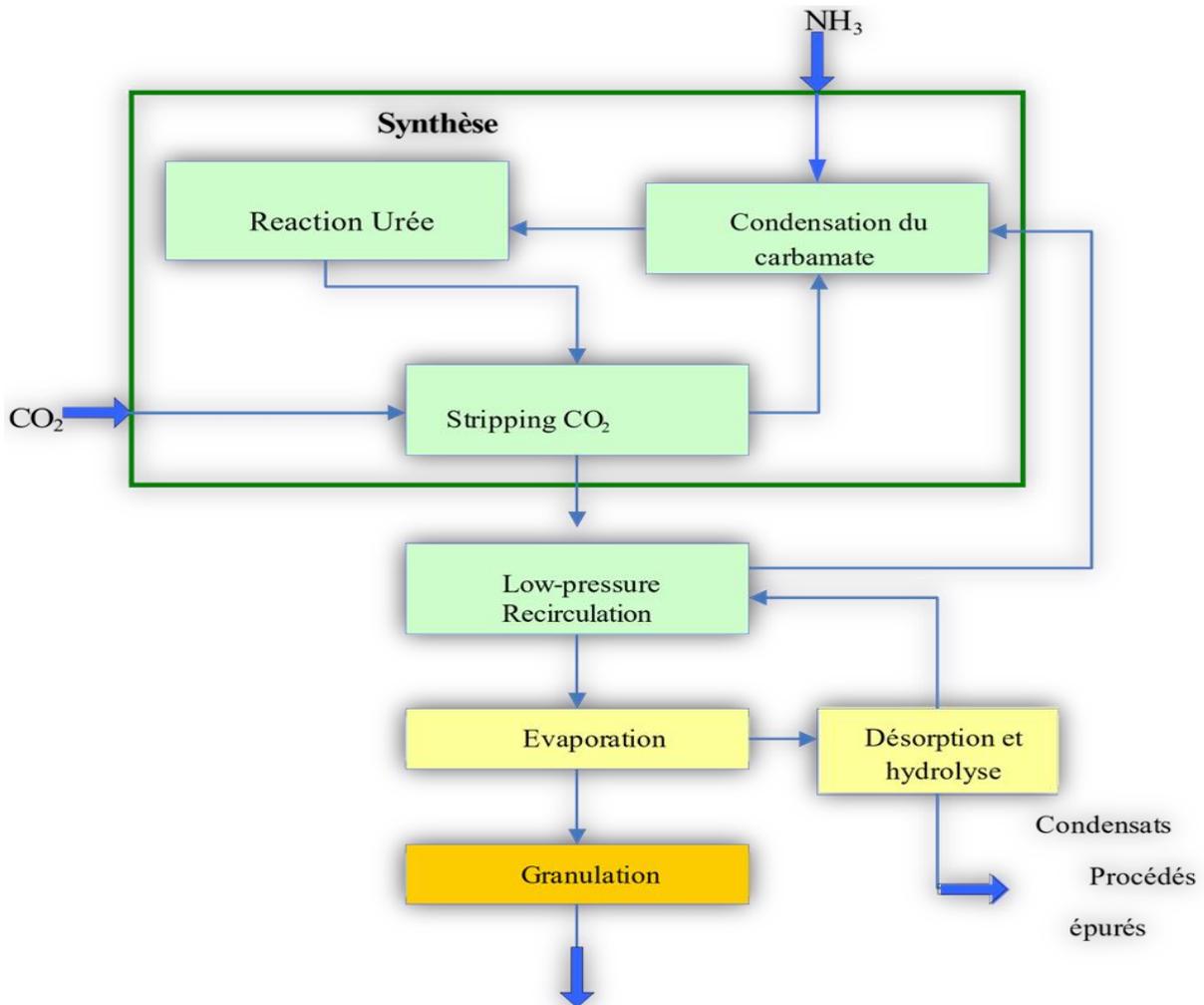
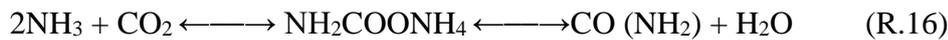


Figure IV.3: Diagramme bloc du procédé de synthèse de l'urée par stripping CO<sub>2</sub> [16].

### IV.10. SYNTHÈSE DE L'URÉE [16]

L'Ammoniac (NH<sub>3</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) nécessaire à la synthèse de l'urée CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> proviennent des unités de production de l'Ammoniac.

D'une partie de la réaction de synthèse. Une réduction de 30 à 40% du volume dans le réacteur est atteinte par conversion du volume de réaction vers le condenseur.

L'Ammoniac et le dioxyde de carbone sont introduits directement dans l'étape de synthèse. Les conditions opératoires optimum sont environ de 140 bars et 180°C.

Le dioxyde de carbone, auquel une petite quantité d'air est ajoutée pour limiter la corrosion, est comprimé à la pression de synthèse dans un compresseur multi-étage, alors que la pression de l'Ammoniac est atteinte par des pompes hautes pression.

L'hydrogène est extrait du courant d'alimentation de dioxyde de carbone dans le réacteur d'extraction de H<sub>2</sub> situé entre les étages de compression.

La condensation exothermique du carbamate d'ammonium ainsi que la déshydratation endothermique du carbamate en urée et eau a lieu dans la section de synthèse.

La réaction résulte d'un équilibre chimique ; une partie de l'Ammoniac et du dioxyde de carbone n'est pas convertie en urée et eau. Pour cette raison, le mélange réactionnel subit une opération de stripping à l'aide de dioxyde de carbone pour stripper l'Ammoniac n'ayant pas réagi.

Les gaz strippés sont introduits dans le condenseur haute pression avec la solution de carbamate provenant du laveur haute pression et avec l'Ammoniac frais.

La chaleur libérée par la formation de carbamate dans le condenseur haute pression est récupérée pour produire de la vapeur basse pression.

Ultérieurement, le mélange de gaz et de liquide coule dans le réacteur d'Ammoniac dans lequel la réaction de formation principale se déroule.

Le mélange réactionnel liquide quittant le réacteur par débordement est introduit au sommet du stripeur.

Les gaz d'exhaure (gaz inertes, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O), séparés du liquide au sommet du réacteur, sont lavés dans le laveur haute pression avec la solution de carbamate provenant de la section de recirculation basse pression. Ainsi, la plupart des gaz sont récupérés et retournés dans le condenseur via un éjecteur haute pression. Les incondensables sont lavés dans un absorbeur basse pression, minimisant ainsi les émissions d'Ammoniac.

### IV.10.1. Recirculation et évaporation [16]

Un seul étage de recirculation est requis grâce à la faible concentration en ammoniac et dioxyde de carbone dans la solution d'urée strippée.

L'Ammoniac et le dioxyde de carbone contenus dans la solution d'urée produite par le stripeur sont récupérés dans cette étape à basse pression.

La solution d'urée quittant la section de recirculation est ensuite concentrée dans la section d'évaporation afin d'atteindre les exigences du procédé de granulation.

L'évaporation sous vide permet de minimiser la formation de biuret. Un réservoir de stockage de la solution d'urée est prévu pour collecter la solution pendant les périodes de nettoyage du granulateur.

La totalité des condensats du procédé est collecté dans un réservoir à partir duquel ils sont envoyés vers la section de désorption.

Dans la première colonne de désorption, l'Ammoniac et le dioxyde de carbone sont extraits des condensats procédés, qui sont ensuite pompés vers la colonne d'hydrolyse où l'urée résiduelle est dissociée.

L'Ammoniac et le CO<sub>2</sub> libérés sont désorbés par vapeur dans une deuxième colonne de désorption. Le gaz sortant du sommet de la première colonne de désorption alimente le condenseur à reflux où les vapeurs de NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O sont condensées, et la majorité est ensuite pompée vers le condenseur de carbamate à basse pression.

Le restant est retourné vers la première colonne de désorption.

L'eau procédé quittant la deuxième colonne de désorption atteint les exigences de qualité environnementale les plus strictes, permettant à cette eau usée d'être utilisée comme eau de refroidissement ou d'alimentation chaudière. Ainsi ce procédé de production d'urée ne génère pas d'effluents liquides

### IV.10.2. Etape de granulation [16]

Après addition de formaldéhyde favorisant la granulation, la solution d'urée (96%) est envoyée à travers les buses d'injection, où elle est finement atomisée vers le haut dans un lit de particules en mouvement. L'atomisation est assistée par air. La granulation est réalisée par croissance, c'est-à-dire que les granulés sont formés par solidification de l'urée déposée sur les particules d'ensemencement.

L'air de fluidisation, délivré par un ventilateur sous une plaque perforée, est distribué sous la couche de produit pour créer un lit fluidisé. L'air est extrait au sommet du granulateur.

Les granulés d'urée se déversent à un flux contrôlé depuis le granulateur vers un refroidisseur.

### IV.10.3. Refroidisseur [16]

Après refroidissement, les granulés sont élevés vers la section de criblage à l'aide d'un élévateur à godets.

La fraction de fines est recyclée directement dans le granulateur alors que les particules les plus grosses sont broyées puis envoyées dans le granulateur comme particules d'ensemencement.

Le produit sélectionné est stocké après un dernier refroidissement.

Le refroidissement de l'urée à une température de stockage constante et suffisamment basse est un paramètre clef pour éviter une prise en masse.

L'air provenant du granulateur et des refroidisseurs contient des poussières d'urée, facilement récupérables dans des équipements standards de lavage. Une efficacité de plus de 99,5% est facilement obtenue grâce à des laveurs industriels éprouvés.

Ainsi des concentrations d'émission de moins de 0,1 kg par tonne d'urée produite peuvent être atteintes.

### IV.10.4. Stockage [16]

L'urée est un produit sec et stable qui peut être facilement stocké et transporté. Cela permet une distribution efficace et une utilisation facile dans les domaines tels que l'agriculture.

Les granulés sont stockés sur le site de production dans un hangar.

## IV.11 SIMULATION DE L'UNITE [17]

### IV.11.1. Présentation du logiciel de simulation ASPEN HYSYS

Le HYSYS n'est pas le logiciel de simulation le plus flexible, ni le plus utilisé dans l'industrie, mais il a l'avantage d'être convivial et facile à utiliser une fois que les éléments de base sont compris. HYSYS a été développé pour l'industrie du pétrole, bien qu'il soit utilisé pour d'autres types de procédés chimiques. Les simulations sont accomplies en utilisant les outils des menus. En plus, il dispose d'une interface graphique pour la construction des diagrammes du procédé (PFD-process flow diagrams).

Les simulateurs existants tels que Aspen Plus, ChemCAD, Hysim, HYSYS, Pro-II sont les plus vendus et deviennent de plus en plus indispensables pour concevoir de nouvelles unités et pour afin d'optimiser les procédés industriels.

### IV.11.2. Simulation [17]

La simulation est définie comme étant la représentation d'un phénomène physique à l'aide de modèles mathématiques simples permettant de décrire son comportement. Ces modèles sont

basés sur la vérification des phénomènes de transfert de masse, d'énergie et de quantité de mouvement qui se produisent dans les différentes opérations unitaires.

### IV.11.3. Présentation des procédures de simulation par HYSYS [17]

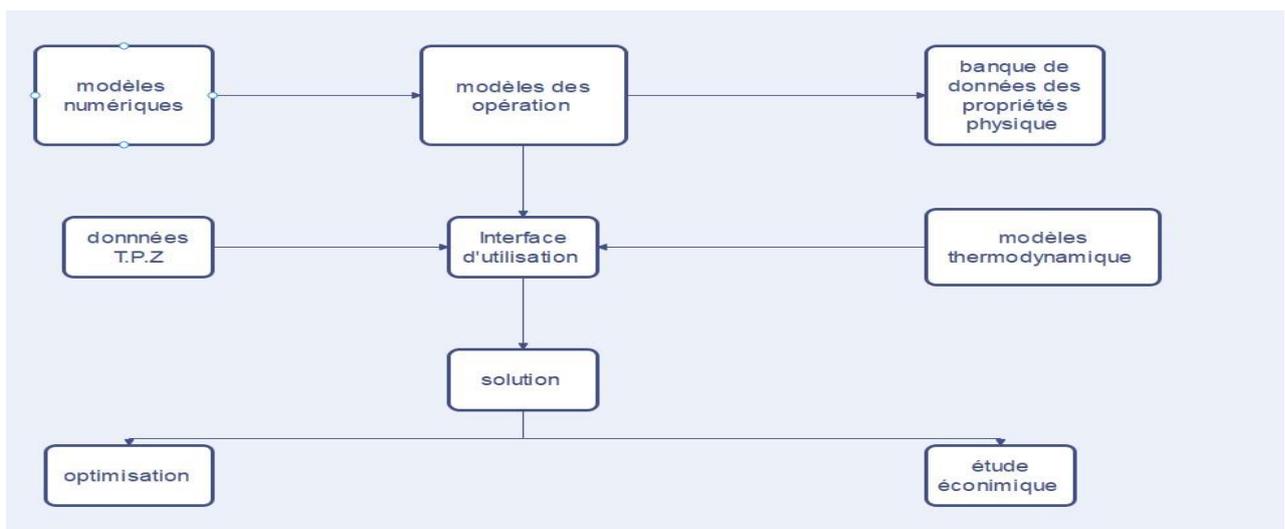
Les simulateurs de procédés utilisés classiquement dans l'industrie, peuvent être considérés comme des modèles de connaissance. Il peut être utilisé lors de la conception d'un procédé industriel afin de :

- ❖ Etablir des bilans de matière et d'énergie d'un procédé industriel.
- ❖ Dimensionner les équipements de ce procédé.  
Ou bien dans le suivi des procédés qui sont déjà installés afin de :
- ❖ Réajuster les paramètres de fonctionnement dans le cas de changement de compositions de l'alimentation ou des conditions de fonctionnement de certains équipements.
- ❖ Déterminer les performances des équipements.

Ces simulateurs disposent tous d'une base de données enrichie d'un ensemble de modèles thermodynamiques permettant d'estimer les propriétés des mélanges **Figure IV.4**

Tout simulateur industriel de procédés chimiques est organisé autour des modules suivants:

- Une base de données des corps purs et un ensemble de méthodes pour estimer les propriétés des mélanges appelés aussi modèles thermodynamiques.
- Des modules de calcul des différentes opérations unitaires contenant les équations relatives à leur fonctionnement : réacteur chimique, colonne de distillation, colonne de séparation et échangeurs de chaleur.



**Figure IV.4** : Structure générale de HYSIS™

### IV. 11.4. Modèle thermodynamique

Le modèle thermodynamique utilisé pour la simulation d'urée dépend du logiciel de simulation utilisé et de la précision requise pour les résultats de la simulation.

Dans le cas de la simulation d'urée, le modèle thermodynamique le plus communément utilisé est le modèle de Soave-Redlich-Kwong (SRK). Ce modèle est largement utilisé pour modéliser les fluides dans de nombreux logiciels de simulation de procédés, y compris Aspen Plus, HYSYS et PRO/II.

Le modèle SRK est basé sur l'équation d'état de Peng-Robinson et utilise une combinaison de termes cubiques et quadratiques pour représenter les interactions intermoléculaires non-idéales. Il est connu pour donner des résultats précis pour les propriétés thermodynamiques des hydrocarbures et des gaz naturels, ainsi que pour les mélanges de gaz et de liquide.

Cependant, d'autres modèles thermodynamiques tels que le modèle de NRTL et le modèle UNIQUAC peuvent également être utilisés pour modéliser des systèmes d'urée, en particulier pour les mélanges d'urée avec d'autres composants tels que l'eau et l'Ammoniac. Le choix du modèle thermodynamique dépendra des propriétés des fluides que vous souhaitez modéliser et de l'exactitude requise pour les résultats de la simulation.

### IV.11.5 Choix du modèle thermodynamique

Le choix du modèle thermodynamique dans une simulation HYSYS dépend des propriétés des fluides que vous souhaitez modéliser et des conditions opératoires de votre processus.

Le modèle thermodynamique NRTL (Non-Random-Two-Liquid) est un modèle thermodynamique qui est souvent utilisé pour modéliser les systèmes multi-composants avec des interactions non-idéales. Il est basé sur l'hypothèse que chaque composant est distribué entre deux liquides, l'un étant riche en composants polaires, l'autre étant riche en composants non-polaires. Ce modèle est approprié pour des systèmes tels que les hydrocarbures, les alcools, les esters, les cétones et les éthers.

### IV.11.6 La simulation de la production de l'urée

Voici les étapes générales pour effectuer une simulation d'urée dans HYSYS:

1. Ouvrez HYSYS et créez un nouveau cas ;
2. sélectionnez les composants: ajoutez les composants nécessaires pour simuler la production d'urée, tels que l'ammoniac, le dioxyde de carbone et l'eau. (Figure IV.5)

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

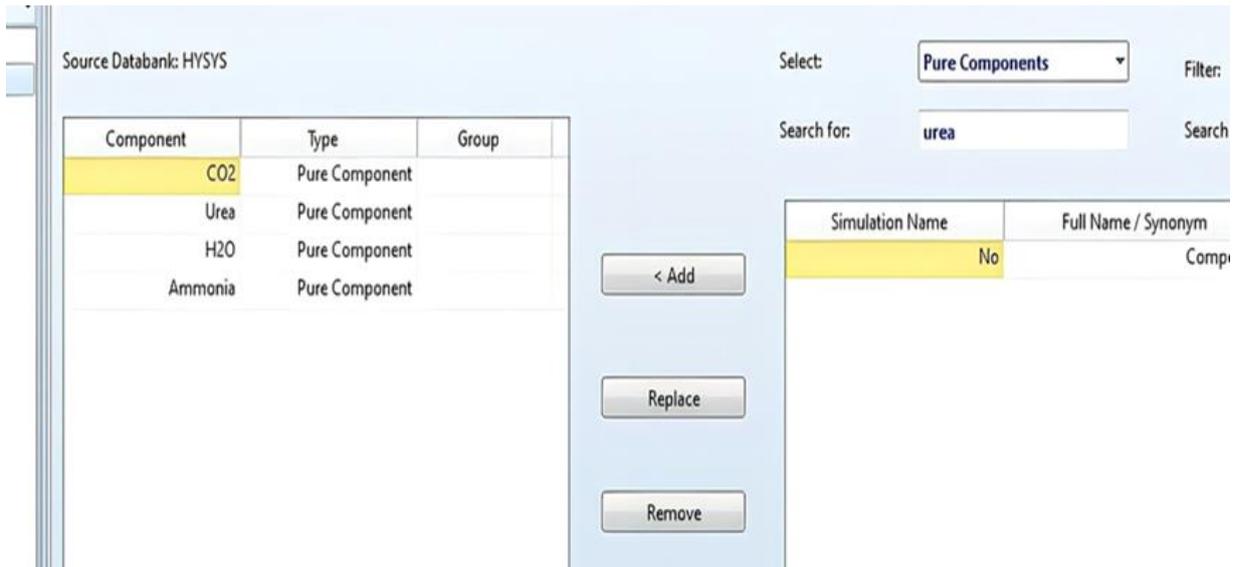


Figure IV.5 : Le choix des espèces chimique.

### 3. Choix le module thermodynamique (Figure IV.6) ;

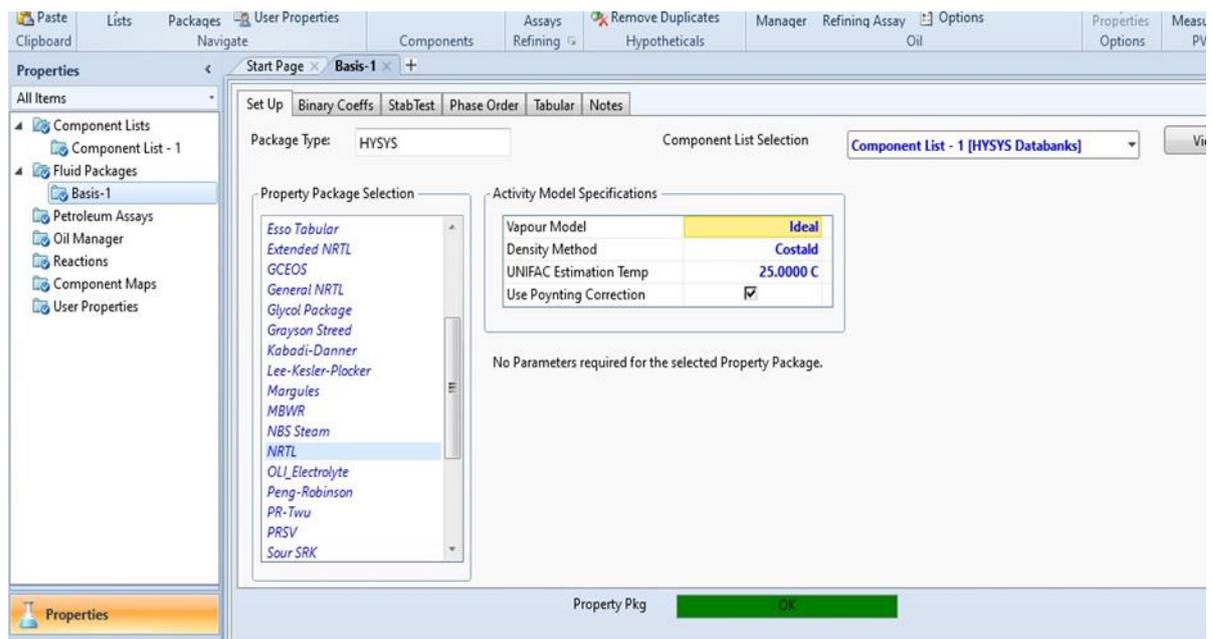


Figure IV.6 : Choix du module thermodynamique (Non-Random TwoLiquid).

### 4. Paramétrez les conditions de fonctionnement pour chaque unité de processus, telles que la pression, la température et le débit. (Figure IV.7 et Figure IV.8) ;

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

Name	inlet	out	work
Vapour	1.0000	1.0000	<empty>
Temperature [C]	40.00	100.0	<empty>
Pressure [kPa]	150.0	284.5	<empty>
Molar Flow [kgmole/h]	1235	1235	<empty>
Mass Flow [kg/h]	5.435e+004	5.435e+004	<empty>
LiqVol Flow [m3/h]	65.85	65.85	<empty>
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3.932e+005	-3.908e+005	<empty>
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	209.5	211.1	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	-4.856e+008	-4.826e+008	2.939e+006

**Figure IV.7 :** Les Résultats de la simulation de Compresseur.

Le tableau IV.2 récapitule les résultats de la simulation du compresseur :

**Tableau IV.2:** Résultats simplifiés de la simulation du compresseur.

Equipement	Entré		Sortie (Par HYSYS)	
	Température (C°)	Pression (bar)	Température (C°)	Pression (bar)
Compresseur	40	1,5	100	2,84

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

Worksheet	Name	1	2	pump1 Q
Conditions	Vapour	0.0000	0.0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	22.00	30.00	<empty>
Composition	Pressure [kPa]	1700	1.470e+004	<empty>
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	2.042	2.115	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	36.00	37.27	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	4.461e-002	4.619e-002	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.988e+005	-1.980e+005	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	72.97	82.87	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-4.060e+005	-4.187e+005	758.8

**Figure IV.8:** Les résultats de la simulation de pompe

Le tableau IV.3 récapitule les résultats de la simulation de la pompe :

**Tableau IV.3:** Résultats simplifiés de la simulation de la pompe.

Equipement	Entré		Sortie	
	Température (C°)	Pression (bar)	Température (C°)	Pression (bar)
Pompe (par HYSYS)	22	17	30	147

**Note :** les conditions de température et de pression dans la fabrication de l'urée dans les deux unités (Arzew et Annaba) sont obligatoirement les mêmes mais la quantité de la matière première est différente.

## Récupération du CO<sub>2</sub> pour la production de l'urée (simulation)

6. Configurez les unités de processus nécessaires pour convertir l'ammoniac et le dioxyde de carbone en urée. Cela peut inclure un réacteur, un échangeur de chaleur et un séparateur. (Figure IV.9 et Figure IV.10)

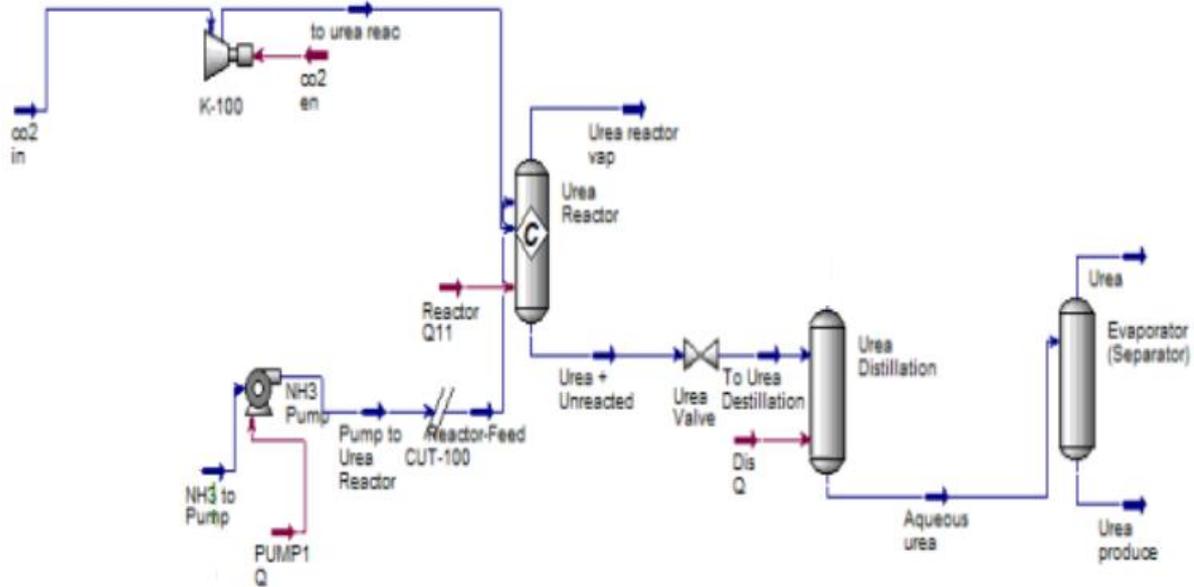


Figure IV.9 : Schéma de simulation du procédé de l'urée.

Flowsheet Main

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	urea	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000
Properties	Temperature [C]	180.0	180.0
Composition	Pressure [kPa]	140.0	140.0
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	40.72	40.72
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1792	1792
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2.171	2.171
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3.875e+005	-3.875e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	186.7	186.7
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-1.578e+007	-1.578e+007
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	2.167	2.167
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

OK

Delete Define from Other Stream...

Figure IV.10: Résultats de la simulation de l'urée

7. Effectuez la simulation: une fois que toutes les unités de processus sont configurées, vous pouvez exécuter la simulation pour modéliser le processus de production d'urée. Vous pouvez également ajuster les paramètres de simulation pour effectuer des analyses de sensibilité et d'optimisation.

### IV.12 .CHIFFRE DE CONSOMMATION

Le rapport entre le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et l'Ammoniac (NH<sub>3</sub>) dans la production d'urée est crucial pour assurer une réaction efficace et économique. Le rapport idéal entre CO<sub>2</sub> et NH<sub>3</sub> dans le processus de synthèse d'urée est de 2:1, c'est-à-dire deux molécules de CO<sub>2</sub> pour une molécule d'Ammoniac.

Le tableau suivant récapitule

**Tableau IV.4.** Comparaison entre l'unité de l'urée d'Annaba (proposé) et d'Arzew.

Unité	Quantité de consommation (kg /h)	Production de l'urée (kg/h)
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Unité de l'urée Annaba (proposé)</li> <li>-L'Ammoniac</li> <li>-Dioxyde de carbone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>50160</li> <li>54345</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1792</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Unité de l'urée Orascom d'Arzew</li> <li>-L'Ammoniac</li> <li>-Dioxyde de carbone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>96559</li> <li>104616</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3450</li> </ul>

#### ❖ Comparaison

- ✚ Les quantités de la matière première d'Arzew sont supérieures à celles d'Annaba cependant le complexe d'Arzew comporte deux usines ;
- ✚ La quantité de la production de l'urée d'Annaba est inférieure à celle d'Arzew ;
- ✚ La taille de process de l'urée d'Arzew est plus grande.

#### ❖ Le coût de production de l'urée

Le coût de production de l'urée dépend de nombreux facteurs, tels que la région géographique, les prix des matières premières, les coûts énergétiques, les coûts de main-d'œuvre et les coûts de transport. Le prix des matières premières est un des facteurs clés.

En général, le coût de la production de l'urée varie entre 200 et 400 dollars américains par tonne, en fonction des facteurs mentionnés ci-dessus.

Cependant, il est important de noter que ce chiffre peut varier considérablement en fonction de la région du monde et des conditions locales.

### **IV.12. CONCLUSION**

Nous avons utilisé ASPEN HYSYS pour la simulation de la production de l'urée, en respectant dans notre étude tous les paramètres calculés, ce qui nous confirme la fiabilité de ce logiciel, et qui nous donne un pas aux futures pour étudier d'autres procédés de décarbonatation.

Cette étude permet de :

- L'élimination du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ;
- La réduction du problème de réchauffement climatique et l'effet de serre ;
- L'augmentation dans la reproduction dans l'usine Fertial ;
- Diminution du problème de chômage ;
- Elimination des effets indésirables de dioxyde de carbone sur la santé d'êtres vivants.

## V. La sécurité de l'unité

### V.1. Introduction

Dans la gestion des entreprises, la sécurité industrielle, au sens large, sert de façon générale à garantir la sécurité des biens, des personnes et également la pérennité de l'entreprise. Il s'agit alors de concilier les exigences de rentabilité à court terme, avec les exigences de sécurité des biens et des personnes visant à réduire les risques sur le plan environnemental, social, économique, générés par l'activité de l'entreprise sur un plus long terme, pouvant affecter ses parties prenantes. Dans les entreprises industrielles, dont les activités présentent des dangers et donc des risques technologiques avérés ou plausibles, la sécurité industrielle se focalise alors sur l'analyse de ces risques et sur leur maîtrise. Chaque activité industrielle quelle que soit sa taille ou son implantation, est sujette à une grande variété d'incidents ou à des situations graves qui peuvent sérieusement perturber son fonctionnement, l'endommager et la détruire [18].



Figure V.1: Moyen des sécurités dans l'unité [18]

### V.1. LES SUBSTANCES TOXIQUES [18]

#### V.1.1 Oxyde de carbone (CO)

L'oxyde de carbone est un gaz fortement toxique il réagit de 250-300 fois plus énergiquement que l'oxygène avec l'hémoglobine du sang aussi le sang perd la capacité de transporter l'O<sub>2</sub> même à la basse teneur de l'oxyde de carbone.

- ✦ Inflammabilité

Gaz dangereux lorsqu'il est exposé à une flamme, il ne s'échauffe pas spontanément.

- ✦ Explosion

Risque sévère lorsque le gaz est exposé à la chaleur ou aux flammes.

- ✦ Santé

Le CO est un agent asphyxiant très fort dont les effets sont principalement dus à l'abstraction du transport de l'oxygène par le sang vers le système tissulaire, il cause une perte d'énergie générale.

#### V.1.2 Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

L'utilisation carbonique est répandue aussi comme gaz inerte dans les industries de boissons gazeuses et d'engrais, il est plus dense que l'air et il peut s'agglomérer dans les caniveaux et dans les endroits bas.

- ✦ Inflammabilité

Le CO<sub>2</sub> n'entretient pas la combustion et ne brûle pas, donc il ne représente aucun risque d'inflammabilité ou des explosions.

- ✦ Santé

Les gaz de ce genre sont qualifiés de simples asphyxiants qui n'ont pas d'effets toxiques spécifiques, mais l'action de gaz exclut l'oxygène des poumons. L'oxygène peut être diminué jusqu'à deux tiers de son pourcentage normale avant que des symptômes appréciables se développent cette condition arrive lorsque la concentration du simple asphyxiant dans le mélange d'air et de gaz, est à 33%. Si la concentration atteint 50% des symptômes marqués peuvent être produits, et une concentration de 75% provoquera la mort du sujet au bout de quelques minutes.

Les premiers symptômes des gaz asphyxiants simples sont la respiration rapide et une soif d'air, il est causé d'une diminution de la vigilance et de la coordination musculaire, ensuite, le jugement devient inexact et les somnolences sont affaiblies, souvent une instabilité émotionnelle en résulte et le sujet se fatigue rapidement. Donc, le plus grand danger de ce gaz provient d'une

impression de sureté mal fondée. Bien que les gaz soient inertes et non toxiques il ne faudra pas négliger les risques d'asphyxie.

### V.1.3 Ammoniac (NH<sub>3</sub>)

Le gaz possède une odeur caractéristique. L'inhalation de ce gaz provoque l'irritation des voies respiratoires et les poumons. En cas de projection sur la peau ou dans les yeux, on doit laver immédiatement avec une grande quantité d'eau. L'établissement disposera d'appareils respiratoires maintenus en bon état dans un endroit apparent et d'accès facile, le personnel sera familiarisé avec l'usage et le port de ces appareils. Le personnel appelé à manipuler de l'NH<sub>3</sub> gazeux et devra être instruit des risques auxquels il est exposé.

### V.1.4 Manipulation de MEA

Le MEA n'est pas compliqué à manipuler à condition de prendre certaines précautions. La matière non diluée et les solutions qui contiennent plus d'environ 10% du MEA sont capables de blessures graves sur la peau suite à des contacts répétés ou prolongés.

#### ❖ Effets sur les yeux :

Le liquide et les vapeurs causent une irritation conjonctivale sévère et une lésion de la cornée. Des effets graves peuvent apparaître si le traitement n'est pas entrepris rapidement.

#### ❖ Effets par ingestion :

Lors de l'ingestion, on peut avoir les effets suivants :

- Forte irritation de la bouche, de la gorge et des voies digestives.

Une quantité importante peut avoir les effets suivants :

- Irritation gastro-intestinale grave.
- Dépression du système nerveux central, évanouissement, convulsions.

#### ❖ Effets par inhalation : L'exposition aux vapeurs peut avoir les effets suivants : forte irritation du nez, de la gorge et des voies respiratoires.

L'exposition à de fortes concentrations de vapeurs peut avoir les effets suivants :

- La pulmonaire.
- Des effets graves peuvent apparaître un certain temps après l'exposition.

## V.2 PREMIERS SECOURS [18]

#### ❖ Contact avec les yeux

Rincer immédiatement et abondamment l'œil avec de l'eau pendant au moins 15 minutes, en maintenant l'œil ouvert. Il faut en effet consulter immédiatement un médecin.

#### ❖ Contact avec la peau

Laver immédiatement et soigneusement la peau à l'eau et au savon. Oter les vêtements contaminés au fur et à mesure du lavage. Consulter un médecin en cas de cloques ou de rougeur.

### ❖ Ingestion

Rincer la bouche avec de l'eau. Faire boire de l'eau ou du lait, par petites gorgées pour calmer les parties atteintes.

### ❖ Inhalation

Soustraire à l'exposition. Garder la personne au chaud et au repos. En cas de difficultés respiratoires administrer de l'oxygène. Si la respiration s'arrête ou montre des signes de défaillance, pratiquer la respiration artificielle. Si le cœur a cessé de battre pratiquer un massage cardiaque externe. Consulter immédiatement un médecin.

## **V.3. PRECAUTIONS [18]**

### **V.3.1. Protection du personnel**

- Enregistrer toute purge au gaz carbonique dans le cahier de quart, et afficher un avertissement à proximité de la zone en question.
- Le personnel devra éviter l'inhalation de l'atmosphère enrichie de ces gaz et porter des appareils respiratoires lorsque la présence de concentration locale est soupçonnée au possible.
- Lorsque le personnel devra entrer dans les ballons, il est indispensable qu'il porte des appareils respiratoires ou que le ballon soit purgé à l'air, dans les deux cas, la supervision étroite du personnel est exigée.

### **V.3.2. Appareils de protection**

Des masques à air intégraux devront être portés lors qu'il risque d'insuffisance d'oxygène (moins que 16% en volume)

La concentration de CO<sub>2</sub> peut être mesurée rapidement au moyen d'équipements industriels tels que les tubes Draiger, et les analyseurs de gaz (figrite). Les appareils respiratoires indépendants permettent à l'utilisateur de porter l'air comprimé dans une bouteille. La durée de la protection fournie par un appareil respiratoire indépendant est en fonction de la quantité d'air dans la bouteille.

### **V.3.3. Premiers soins**

Apporter les premiers soins selon les besoins, en général les principes soins sont les suivants :

- Eloigner les sujets du lieu de l'accident car l'atmosphère sera toujours polluée de gaz carbonique, les secouristes devront être munis d'équipement de protection adéquats et d'une ligne de sauvetage.

- Examiner la boucle du sujet et enlever les fausses au chewing-gum.....etc.
- Après avoir découvrir une personne évanouie et asphyxiée par le gaz, il est très important de procéder à une réanimation respiratoire immédiatement sans attendre l'arrivée d'un brancarde, des couvertures ou d'autre équipement.

### V.3.3. Incendie

L'origine des incendies déclenchés à tout moment est à cause des cigarettes des fumeurs, les liquides inflammables et le manque d'ordre et aussi le dégagement de chaleur provenant des appareils au des conduites du chauffage et de l'électricité.

\* Mesure de prévention

- ✓ Création d'un service anti-feu
- ✓ Instruction des travailleurs à l'efficacité de mesure de protection contre incendies.
- ✓ Installation d'un matériel contre le feu (les instructeurs)
- ✓ Installation des extincteurs à proximité des stations de remplissage des liquides inflammables et tout appareil électrique.

### V.3.4. Electricité

Le nombre de la production d'électricité double chaque année car c'est l'élément le plus important dans la mise en marche de tout processus industriel. Toutefois, l'électricité représente des dangers mortels alors que le degré d'électrocution dépend de :

- ✓ L'intensité du courant ;
- ✓ La durée du contact avec le courant ;
- ✓ Type au caractère du courant et de la fréquence.

\*Mesure de protection :

- ✓ Instruction pour tous les travailleurs ;
- ✓ Application des moyens individuels ;
- ✓ Isolation de toutes les pièces qui se trouvent sous la tension ;
- ✓ Application des dispositifs de déclenchement automatique ;
- ✓ Utilisation des moyens de signalisation.

### V.3.5. Le bruit

Le bruit exerce une influence néfaste sur le corps humain, en général sur le système nerveux et l'appareil auditif.

Il provoque la fatigue, l'inattention, la sudiste, le retard des actions physiques, le changement des systèmes respiratoires et des troubles cardiaques.

### V.3.6. L'éclairage

Un bon éclairage favorise le rendement et la productivité, ce qui compense les dépenses supplémentaires.

Par contre de mauvaises conditions d'éclairage entraînent la fatigue des yeux, et augmentent le risque d'accident. Il existe deux types d'éclairage :

#### 1. Eclairage naturel :

- ✓ Eclairage latérale au bilatérale ;
- ✓ Eclairage du plafond ;
- ✓ Eclairage mixte ou combine (latéral + plafond).

#### 2. Eclairage artificiel

Il doit assurer l'éclairage ou l'éclairement suffisant uniforme, et au même temps exclure les dangers d'incendie à l'explosion. Il existe deux types d'éclairage artificiel :

-Eclairage spécial : se subdivise en éclairage de la veille, de secoues, de signalisation et de protection.

-Eclairage de travail : se subdivise en système d'éclairage général uniforme, localise et combine.

### V.4. CONSEILS GENERALES PRATIQUES

#### ✦ Fuite de gaz :

Si au cours des travaux, des émanations de gaz sont constatées, les travaux doivent être immédiatement suspendus.

- Les moteurs, les postes à soudeuse, les chalumeaux doivent être arrêtés.
- Avertir les départements.
- Département de sécurité et département de production.

#### ✦ Feu de gaz :

• Ne jamais chercher à éteindre un feu de gaz mais arrêter la fuite en fermant la vanne appropriée.

- Le gaz non enflammé pourrait se répandre et être à l'origine d'une explosion.
- Avertir immédiatement le service de sécurité et le département de production

#### ✦ Feu de liquide :

Après avoir averti le département de sécurité et de production :

- Fermer la vanne adéquate.
- Intervenir rapidement avec des extincteurs.

- Ne pas projeter de l'eau sur un circuit électrique sous tension.

### V.5. SYSTEME DE SECURITE DES INSTALLATIONS DE L'UNITE [18]

Dans le système d'extraction de gaz CO<sub>2</sub>, des volumes considérables d'hydrocarbures à haute température et haute pression sont manipulés. Toute défaillance du confinement représentera une menace immédiate pour le personnel, l'environnement et l'équipement.

Procéder à des contrôles physiques réguliers est très important sur les équipements. Il est tout aussi important de ne pas neutraliser les systèmes de sécurité sans obtention des approbations et documents nécessaires.

Les dangers mécaniques et électriques liés à l'équipement rotatif existent sur l'unité d'extraction de gaz acide, par conséquent tout le personnel doit être conscient de ces dangers et doit prendre les mesures appropriées pour les réduire autant que possible.

L'agent d'absorption employé dans la zone est l'amine. Le personnel activant dans cette zone doit bien connaître les fiches toxicologiques concernant l'amine.

Le système de décarbonatation doit être lié avec des vannes de sécurité : basse débit, basse pression et haute débit. Pour le déclenchement de l'arrêt du système en cas d'urgence.

Le flux d'amine vers le haut du CO<sub>2</sub> absorbé soumis à un contrôle de débit. Un débit bas-bas ou une pression basse-basse dans la vanne de contrôle de débit déclenchera la fermeture de la vanne d'arrêt en amont du préchauffeur. Cette protection a pour but d'éviter l'écoulement inverse du gaz dans l'absorbeur vers le système d'Amine -Circulation Pumps.

## CONCLUSION GENRALE

Ce projet de fin d'étude est le résultat des travaux effectués durant une période de stage pratique au sein du complexe de FERTIAL.

Le but de cette étude consiste à étudier un problème industriel et environnemental en même temps, présenter et discuter l'utilisation d'Aspen HYSYS pour la production de l'urée qui devrait être conçue pour épurer un effluent gazeux d'un gaz polluant ( $\text{CO}_2$ ).

Les résultats d'étude environnementale obtenus nous permettent de proposer des solutions en vue d'éliminer le dioxyde de carbone dans l'atmosphère qui provoque la pollution atmosphérique et le réchauffement climatique ainsi que des effets sur la santé des êtres humains. Or, les résultats d'étude économique obtenus nous ont donné l'occasion de proposer aux responsables de prendre en considération cette process (la production de l'urée) pour gagner plus d'argent en encourageant l'exportation vers l'étranger et satisfaire aux exigences de fabrication.

## Annexe

**Tableau1** : Analyse des gaz unité NH<sub>3</sub>

ELEMENT	R1	R2	HTS	LTS	EM	SM	EC	SC	GP
H <sub>2</sub> %	68.03	56.13	59.96	60.97	74.48	73.99	63.35	54.90	60.19
N <sub>2</sub> %	1.59	22.27	20.33	19.81	24.20	24.67	21	18.80	20.06
CH <sub>4</sub> %	9.58	0.33	0.30	0.30	0.36	1%	10.05	11.03	12.67
CO %	10.18	12.96	3.11	0.50	0.6	10PPM			
CO <sub>2</sub> %	10.57	8.00	16.02	18.50	100PPM				
AR %							3.13	3.43	3.81
NH <sub>3</sub> %							2.05	12	2.73



**Figure A.1** : Les zones de captage et stockage au monde

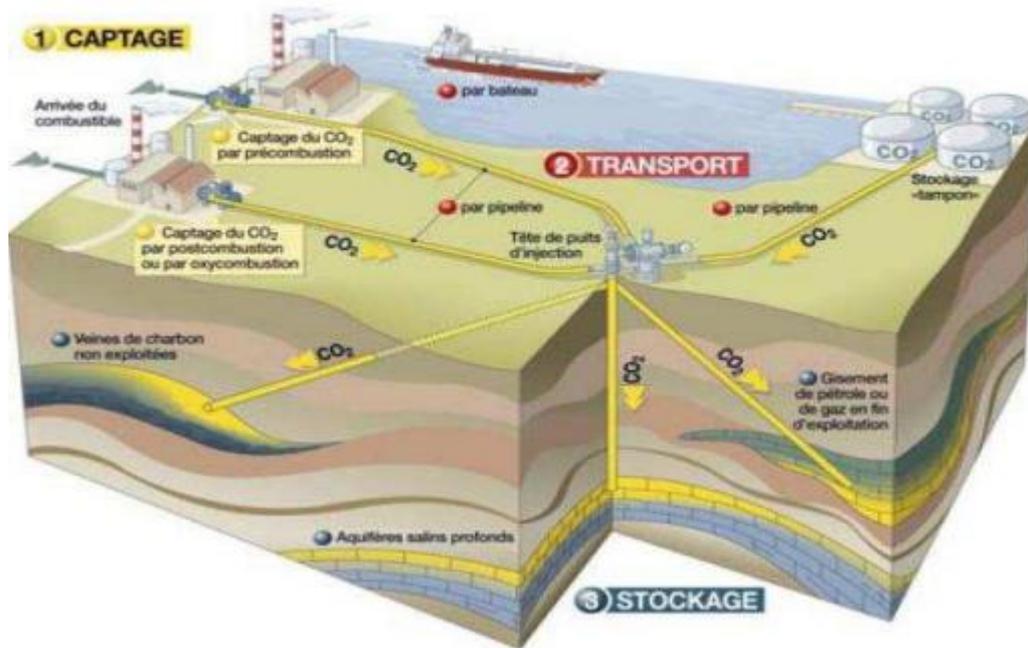
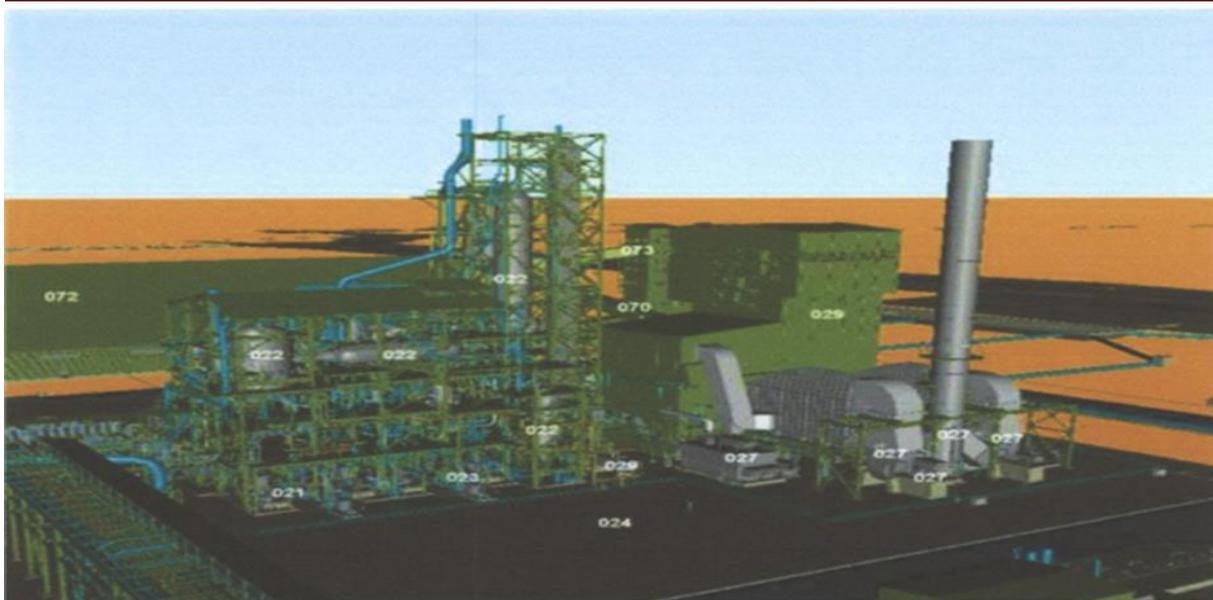


Figure A.2 : Schéma simplifié de procédé de captage et stockage de CO<sub>2</sub>



(a)

## Annexe



(b)

**Figure(a) et (b).A 4** : Localisation des systèmes de l'unité d'urée.

- 020 Compression du CO<sub>2</sub>
- 021 Pompe d'Ammoniac
- 022 Synthèse d'Urée
- 023 Recirculation
- 024 Evaporation
- 027 Granulation
- 028 Désorption et Hydrolyse
- 029 Vapeur et Condensation



**Figure 5** : Bac de stockage de l'urée

## Référence Bibliographique

- [1] Technique, Brochure ASMIDAL d'Annaba Algérie.
- [2] Document interne de FERTIAL .
- [3] Site web de FERTIAL 'WWW.FERTIAL.DZ'.
- [4] Manuel Creusot-Loire entreprise-KELLOG France sonatrach Ammoniac Annaba.
- [5] M. Jean-Paul, Ammoniac NH<sub>3</sub>, Technique de l'ingénieur, PP : 2, 2001.
- [6] R.Perrin et J.P.Scharff « chimie industrielle », 2<sup>ème</sup> tirage, 1993.
- [7] Manuel opératoire du complexe FERTIAL Annaba.
- [8] Manuel d'instruction opératoire pour une usine d'Ammoniac, 1976.
- [9] Formation d'ingénieur module II: décarbonatation volume 26.
- [10] K. Bensafi et F. Zohra, «récupération de CO, rejeté vers l'atmosphère », mémoire d'ingénieur, Ecole de Boumerdès UFR Gaz Engineering & Refining, algérien pétroleum Institute IAP spa, 2007,
- [11] B. All et B. Hocine, « Estimation et récupération du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) rejeté dans l'atmosphère au niveau de section de décarbonatation dans le complexe GL2/Z», mémoire d'ingénieur, université de Mustapha stambouli, 2016.
- [12] K. Samir, « Récupération de CO<sub>2</sub> rejeté vers l'atmosphère au niveau du la section de décarbonations d'une unité de traitement gaz naturel», mémoire d'ingénieur, université Kasdi Merbah Ouarga ,2013.
- [13] C. Naceuer . « Captage et stockage du CO<sub>2</sub> » éditions Quae, 2010.
- [14] H. N.NJENGA « chimie industrielle minérale partie 2, université of Nairobi and William Wan solo», 2001.
- [15] Manuel opératoire du complexe Sofert d'Arzew.
- [16] Nouredine Radjah « etude du laveur 022<sup>E</sup>003 de la boucle de synthèse de l'urée au niveau de complexe Sofert d'Arzew », mémoire d'ingénieur, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2017.
- [17] Simulateur HYSYS v 8.0
- [18] Manuel de Sécurité du complexe ASMIDAL d'Annaba Algérie.